

電位規制クーロメトリーによる標準物質として使用する
硝酸プルトニウム溶液の値付けのための分析
(共同研究)

Application of Controlled-potential Coulometry as a Primary Method
for the Characterization of Plutonium Nitrate Solutions
being Used for Reference Materials
(Joint Research)

山本 昌彦 Michael K. Holland Joseph V. Cordaro 久野 剛彦
駿河谷 直樹

Masahiko YAMAMOTO, Michael K. HOLLAND, Joseph V. CORDARO, Takehiko KUNO
and Naoki SURUGAYA

バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所
再処理技術開発センター
施設管理部

Technical Services Department
Tokai Reprocessing Technology Development Center
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories
Sector of Decommission and Radioactive Waste Management

June 2017

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発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 (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方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
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, 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, 2017

電位規制クーロメトリーによる標準物質として使用する
硝酸プルトニウム溶液の値付けのための分析
(共同研究)

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門 核燃料サイクル工学研究所
再処理技術開発センター 施設管理部

山本 昌彦、Michael K. Holland*、Joseph V. Cordaro*
久野 剛彦、駿河谷 直樹

(2017年4月14日受理)

核物質であるプルトニウムの精密な分析は計量管理、保障措置において重要であり、分析の際に使用する標準物質にも高い信頼性が求められる。本件では、同位体希釈質量分析で使用する標準物質の候補となる硝酸プルトニウム溶液中のプルトニウム量の値付けのための分析にファラデーの電気分解則に基づく絶対分析法である電位規制クーロメトリーを適用した。測定装置には国際規格 ISO12183 に準拠するものを使用し、その校正は国際単位系である SI 単位にトレーサブルとなる計測機器を使用して実施した。装置の性能評価のためにプルトニウム金属標準物質から調製した試料を測定した結果、測定値は表示値と±0.05 %以内で良好に一致し、繰り返し測定の相対標準偏差も 0.05 %以下と非常に高い精度でプルトニウムを分析できることが分かった。そこで、本法で同位体希釈質量分析の標準物質候補となりうるプルトニウム-239 の同位体組成比が比較的高い混合酸化物粉末から精製した硝酸プルトニウム溶液を測定した。その結果、繰り返し測定の相対標準偏差は 0.05 %以下、信頼区間が 95 %を示す包含係数 $k=2$ として評価した測定値の不確かさは 0.069 %以下と標準物質の測定法として求められる精度を満足する水準で精密にプルトニウムを分析することができた。

本報告書は、米国エネルギー省との間に締結された「保障措置と核不拡散に向けた核物質管理及び計量管理に係わる手段に関する研究開発協力協定」に基づき、日本原子力研究開発機構と Savannah River National Laboratory との共同研究により実施した研究成果に関するものである。

核燃料サイクル工学研究所：〒319-1194 茨城県那珂郡東海村村松 4-33

* Savannah River National Laboratory

**Application of Controlled-potential Coulometry as a Primary Method for the
Characterization of Plutonium Nitrate Solutions
being Used for Reference Materials
(Joint Research)**

Masahiko YAMAMOTO, Michael K. HOLLAND*, Joseph V. CORDARO*,
Takehiko KUNO and Naoki SURUGAYA

Technical Services Department, Tokai Reprocessing Technology Development Center,
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories,
Sector of Decommission and Radioactive Waste Management,
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 14, 2017)

Precise and accurate determination of plutonium weight is necessary for material control and safeguards. In this study, the controlled-potential coulometry, which is the absolute measurement based on Faraday's law of electrolysis, has been applied as a primary method for characterizing the plutonium master solutions being used as alternative source material for isotope dilution mass spectrometry spikes. The coulometry system compliant with ISO12183 has been used for measurement. It has been calibrated using equipment which is traceable to the International System of Units. Samples of plutonium standard have been measured to confirm the accuracy. The relative standard deviation is below 0.05 %. The results agree with the reference value within ± 0.05 %. It is found that the plutonium can be precisely analyzed by the coulometry system. Then, the plutonium nitrate solution, which has been purified from mixed oxide powder containing relatively high plutonium-239, has been measured. The relative standard deviation is below 0.05 % and the expanded uncertainty is less than 0.069 % at the 95 % confidence interval ($k = 2$). It is indicated that coulometric assay of plutonium is fit for the purpose of characterizing reference materials.

Keywords: Plutonium, Coulometry, Precise and Accurate Analysis, Uncertainty

This work was performed in JAEA as a joint research with Savannah River National Laboratory under the JAEA-US DOE/NNSA arrangement in the field of safeguards, nonproliferation and nuclear security.

* Savannah River National Laboratory

目次

1. はじめに	1
2. 実験	2
2.1 試薬	2
2.2 電位規制クーロメトリー装置	2
2.3 電解セル	2
2.4 プルトニウム標準試料	3
2.5 硝酸プルトニウム溶液	3
2.6 プルトニウム濃度の測定	3
3. 電気規制クーロメトリー装置の校正	5
3.1 測定装置の概要	5
3.2 各機器の校正	6
3.3 カウント数から電気量への変換定数の評価	7
4. クーロメトリー装置の性能評価	8
4.1 プルトニウム式量電位の評価	8
4.2 測定精度の評価	8
4.3 クーロメトリー装置の長期安定性の評価	9
5. 硝酸プルトニウム溶液の測定	10
5.1 硝酸プルトニウム溶液の分析結果	10
5.2 硝酸プルトニウム溶液の不確かさ評価結果	11
6. まとめ	12
参考文献	13
付録　クーロメトリー測定値の不確かさ評価	22

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Experiments	2
2.1 Reagents	2
2.2 Controlled-potential coulometer	2
2.3 Electrolysis cell	2
2.4 Plutonium standard sample	3
2.5 Plutonium nitrate solution	3
2.6 Measurement of plutonium concentration	3
3. Calibration of coulometry system	5
3.1 Outline of measurement system	5
3.2 Calibration of equipment	6
3.3 Evaluation of calibration factor from counts to coulomb	7
4. Performance evaluation of coulometry system	8
4.1 Evaluation of plutonium formal potential	8
4.2 Evaluation of measurement accuracy	8
4.3 Evaluation of long time stability	9
5. Analysis of plutonium nitrate solution	10
5.1 Analytical results of plutonium nitrate solution	10
5.2 Uncertainty evaluation of plutonium nitrate solution results	11
6. Conclusions	12
References	13
Appendix Uncertainty evaluation of coulometric measurement results	22

CONTENTS of Figures

Figure 1 Block diagram of the coulometer system used in this study15

Figure 2 Schematic drawing of the cell assembly installed into the glove box15

Figure 3 Circuit diagram during calibration implementation16

Figure 4 Resistivities of load resistor and calibration resistor17

Figure 5 Frequencies and clocks of equipment inside digital integrator17

Figure 6 Measurement results of plutonium formal potential in 0.9 M HNO₃18

Figure 7 Measurement date dependency of coulometric results19

Figure 8 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.120

Figure 9 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.220

Figure 10 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.321

CONTENTS of Tables

Table 1 Test equipment used for component calibration of the coulometer system16

Table 2 Analytical results of plutonium standard samples18

Table 3 Analytical results of plutonium nitrate solutions from mixed oxide powder19

This is a blank page.

1. はじめに

核燃料サイクル施設におけるプルトニウム(Pu)の分析は、核物質の計量管理と保障措置の観点から信頼性の高い分析法が求められ、同位体希釈質量分析法(IDMS; Isotope Dilution Mass Spectrometry)が適用されている。この方法は、対象となる試料に、それとは同位体組成の異なるスパイクと呼ばれる標準物質を一定量添加し、添加前後の同位体組成比を質量分析計で測定することで試料中の元素量を定量するものである。IDMS によって正確な分析値を得るためには、信頼性の高いスパイクを確保することが不可欠であり、Pu の分析においては、スパイクの原料として米国や仏国で製造された Pu 金属標準物質が使用されている^{1),2)}。しかし、近年、核物質である Pu の海外からの輸送は非常に困難な状況になってきており、日本原子力研究開発機構では IDMS 用スパイクとして ²³⁹Pu 同位体組成比が比較的高い混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液を用いて、スパイクの調製に関する技術開発が進められている³⁾。

精製した硝酸 Pu 溶液をスパイクの原料として使用するためには精密に Pu を分析する必要がある。Pu の精密な分析法としては、電位規制クーロメトリーが古くから知られている。電位規制クーロメトリーは、印加電圧を制御しながら試料中の目的物質を電気分解して測定した電気量からファラデーの法則に基づき分析を行う方法である。この方法は、重量分析法と並ぶ絶対量分析法として知られており、標準物質による校正が不要であり、電気量および物質の電気化学当量から、目的物質を精密に定量することが可能である。電位規制クーロメトリーに使用する主な装置は、エレクトロニクス応用機器であり、測定の自動化・遠隔操作が容易なことから、Pu の精密分析法として広く使用されてきた⁴⁻⁸⁾。また、電位規制クーロメトリーによる Pu の分析は、1995 年に国際規格である ISO12183 で規格化され、2005 年には第 2 版、2016 年には第 3 版が発行されている⁹⁾。

そこで、本研究では、米国 Savannah River National Laboratory(SRNL)と共同研究で電位規制クーロメトリーを硝酸 Pu 溶液の値付けのための分析に適用した。測定には最新の ISO12183 に準拠する装置・機器を使用し、国際単位系である SI 単位にトレーサブルな計測機器を用いて校正した。その後、標準試料を用いて装置の性能を評価して硝酸プルトニウム溶液の分析を実施した。本報告書では、測定に使用した装置・機器の校正結果、プルトニウムの分析結果とその不確かさ評価の結果について報告する。

2. 実験

2.1 試薬

純水は、アドバンテック東洋製 RFD240NA 蒸留水製造装置で蒸留後、MERCK MILLIPORE 製 A10 超純水製造装置で処理したものを使用した。硝酸は、和光純薬工業製硝酸(試薬特級、質量分率:60~61%)を純水で希釈して 0.9 M、8M に調整した。硫酸は、和光純薬製硫酸(試薬特級、質量分率:95%以上)を純水で希釈して 3 M に調整した。王水は、硝酸を 4 mL、塩酸(和光純薬製、試薬特級、質量分率:35.0~37.0%)を 4 mL、純水を 4 mL 混合して調整した。スルファミン酸水溶液は、関東化学製アミド硫酸(純度 99.5%以上)を純水で溶解して 1.5 M に調整した。また、過酸化水素水は、関東化学製過酸化水素水(30~35.5%)をそのまま使用した。

2.2 電位規制クーロメトリー装置

電位規制クーロメトリー装置は、2000年に東海再処理施設に導入されたもの¹⁰⁾を基に、最新の ISO12183 に準拠するように 2008年にアップグレードを実施した¹¹⁾。本装置の基本設計は、SRNL から既に報告されている¹²⁾。Figure 1 に本装置のブロック図を示す。本装置は、電解セル、Ortec 製 4001A NIM BIN 用電源、ポテンシオスタットモジュール、デジタル積分モジュール、オートメーションモジュール、アイソレーションモジュール、直流電源装置、Ortec 製 974 Quad Counter/Timer、Agilent 製データ収集/スイッチ・ユニット(34970A)、Dell 製 PC(Latitude D830)から構成し、電解セル以外の各機器はグローブボックスの外側に設置した。なお、ポテンシオスタットモジュール、デジタル積分モジュール、オートメーションモジュール、アイソレーションモジュール、直流電源装置は SRNL が製作したものであり、NIM BIN 用電源内に設置した。また、各機器の動作は、HT BasicTM を用いて作成したプログラムで制御した。

2.3 電解セル

電解セルは、容量 30 mL のガラス製セルと電極から構成し、グローブボックス内に設置した。作用電極には金電極(純度:99.99%、網型、高さ:15 mm、直径:20 mm)、参照電極には飽和カロメル電極(Saturated Calomel Electrode; SCE、Thermo Fisher Scientific Inc. 製 13-620-79)、対極には白金電極(直径:0.5-3.0 mm)を使用した。Figure 2 に電解セル及び電極の外観図を示す。作用電極は、グローブボックスへの設置前に王水、Pu の測定前後には 8 M 硝酸で電極表面を洗浄し、参照電極及び白金電極は底部を 2.5 mm 厚のバイコールガラス(ポアサイズ:0.01 μm 以下)にしたガラス管内に設置することで試料によるコンタミネーションを防止した。また、測定中は、Matsusada Precision Inc.製 RK-80 直流可変電源に接続した攪拌器で試料を攪拌するとともに、試料中の溶存酸素を除去するため、アルゴンガスを 2.5 L/min で通気した。

2.4 プルトニウム標準試料

Pu 標準試料は、認証付 Pu 金属標準物質(NBL CRM126)を電子天秤で採取後、フッ化水素酸と硝酸の混酸で溶解して 3 M 硝酸で定容した¹¹⁾。この溶液を電解セルに Pu が約 10～15 mg となるように分取して、過酸化水素水で Pu(IV)に原子価調整後、3 M 硫酸で白煙処理を施して加熱乾固した。なお、試料分取時等の天秤秤量値は、浮力補正を行った¹³⁾。

2.5 硝酸プルトニウム溶液

硝酸 Pu 溶液は、原料である混合酸化物粉末を硝酸で溶解後、陰イオン交換樹脂で精製して調製した³⁾。その後、Pu 標準試料と同様に、電解セルに Pu が約 10～15 mg となるように分取後、過酸化水素水で Pu(IV)に原子価調整し、3 M 硫酸で白煙処理を施した後、加熱乾固した。試料分取時等の天秤秤量値についても、Pu 標準試料調製時同様、浮力を補正した¹³⁾。

2.6 プルトニウム濃度の測定

Pu 標準試料及び硝酸 Pu 溶液中の Pu 濃度は、電位規制クーロメトリーを用いて ISO12183 に記載の手順で測定した⁹⁾。まず、ブランクとして 0.9 M 硝酸を電解セルに 18 mL 分取後、1.5 M スルファミン酸水溶液を 1～2 滴加えて装置にセットした。その後、アルゴンガスを 2～3 分程度通気して、クーロメトリー装置で Pu の式量電位である E_{Pu}° から -0.26 V の電位で還元、 E_{Pu}° から +0.24 V の電位で酸化した。測定は、酸化電位印加時に観測された初期電流値の 1000 分の 1 以下の電流が観測されるまで実施し、その際の電気量を求めた。ブランクの測定終了後に同様の印加電圧及び手順で Pu 濃度を測定した。測定は、 $Pu(III) \rightleftharpoons Pu(IV) + e^{-}$ の電極反応を利用し、Pu(III)が Pu(IV)へ電解酸化するとき発生する電気量から式(1)で Pu 量を求めた。なお、本装置では、酸化還元とも電流値がブランク値近傍の値まで減少すると、印加電圧を自動的に移動させて電流がゼロになる電位を求め、その電位到達までの電気量を補正できる。これにより、残余電流の影響を正確に評価できるようになっている。さらに、試料とブランク測定時では、測定時間が前者の方が長く、残余電流の影響による誤差が大きくなることから、ブランクの測定電気量については式(2)で補正した。また、酸化及び還元終了時の電位と式量電位の Nernst 式との関係から Pu の電解率を式(3)により算出して、測定電気量を電解率で除することで 100%電解時の電気量に補正した。

$$C_{Pu} = \frac{(Q_S \cdot C - Q'_b) \cdot A_{rPu}}{1000 \cdot F \cdot s \cdot f_{Pu}} \quad (1)$$

$$Q'_b = \frac{(Q_b \cdot C - I_B \cdot t_B) \cdot (S_{ox} - S_{red})}{(B_{ox} - B_{red})} + I_S \cdot t_S \quad (2)$$

$$f_{\text{Pu}} = \frac{\exp\left[F \cdot \frac{(S_{\text{ox}} - E_{\text{Pu}}^{\circ})}{R \cdot T}\right]}{1 + \exp\left[F \cdot \frac{(S_{\text{ox}} - E_{\text{Pu}}^{\circ})}{R \cdot T}\right]} - \frac{\exp\left[F \cdot \frac{(S_{\text{red}} - E_{\text{Pu}}^{\circ})}{R \cdot T}\right]}{1 + \exp\left[F \cdot \frac{(S_{\text{red}} - E_{\text{Pu}}^{\circ})}{R \cdot T}\right]} \quad (3)$$

C_{Pu}	Pu 濃度 (mg/g)
Q_s	試料溶液の積算カウント数 (count)
Q_b°	補正後のブランク溶液の測定値 (μC)
Q_b	ブランク溶液の積算カウント数 (count)
C	カウント数から電気量への変換定数 ($\mu\text{C}/\text{count}$)
$A_{r\text{Pu}}$	Pu のグラム当量 (g/mol)
F	ファラデー定数 (C/mol)
s	Pu 試料の採取重量 (g)
f_{Pu}	Pu の電解率
E_{Pu}°	Pu の式量電位 (V)
I_B	ブランク酸化時の残余電流 (μA)
I_S	試料酸化時の残余電流 (μA)
t_B	ブランクの酸化時間 (s)
t_S	試料の酸化時間 (s)
B_{ox}	ブランク酸化時の最終印加電圧 (V)
B_{red}	ブランク還元時の最終印加電圧 (V)
S_{ox}	試料酸化時の最終印加電圧 (V)
S_{red}	試料還元時の最終印加電圧 (V)
R	気体定数 (J/mol·K)
T	試料溶液の温度 (K)

3. 電気規制クーロメトリー装置の校正

電位規制クーロメトリー装置は、2008年にアップグレードを実施して以来、18～20ヶ月の周期で国際単位系であるSI単位にトレーサブルな計測機器を用いて校正を実施してきた。本校正では、装置内の各抵抗値、出力周波数、クロック数を求めた後、測定する信号から電気量への変換定数を評価して装置の健全性を確認した。以下、測定装置の概要、実施した装置内各機器の抵抗値、出力周波数の測定結果、電気量への変換定数の評価結果を示す。

3.1 測定装置の概要

本件で使用した電位規制クーロメトリー装置のポテンシオスタットモジュール中の酸化用ポテンシオスタット内部には電解セルと直列に配置された負荷抵抗(設計値: 50 Ω)が設置されている。電解セルで発生した全ての電気分解電流は、負荷抵抗を通過し、抵抗両端での電圧降下が電気分解電流に比例する。デジタル積分モジュールは、並列に配置された2つの電圧・周波数変換装置(VFC#1、VFC#2、VFC; Voltage-to-Frequency Converter)と水晶振動子(QCO; Quartz Crystal Oscillator)で構成され、酸化用ポテンシオスタット内の電圧降下を周波数に変換して、Ortec製974 Quad Counter/Timerで測定信号(カウント数)の積分値を計測する。オートメーションモジュールでは、電解セルの代わりに内部の校正用抵抗(設計値: 100 Ω)を使用して、電圧印加時において設定した時間内のVFCからのカウント数を計測することで電氣的校正を行い、式(4)からカウント数/電気量の変換定数Cを求めることができる。ここで得られた変換定数を用いることで測定カウント数からファラデーの電気分解則に準じた物質質量である電気量を求めることができる。

$$C = \frac{I_C \cdot t_C}{Q_C} \times 10^6 = \frac{V_C \cdot t_C}{R_C \cdot Q_C} \times 10^6 \quad (4)$$

C	カウント数から電気量への変換定数(μC/count)
I _C	電流値(A)
t _C	測定時間(s)
Q _C	測定カウント数(count)
V _C	印加電圧(V)
R _C	校正用抵抗の抵抗値(Ω)

また、Agilent製データ収集/スイッチ・ユニット(34970A)では、印加電圧、電解時及び電氣的校正時の抵抗間における降下電圧を計測し、データをPCへと送信する。なお、本装置ではPuを精密に定量するため、VFC#1には、酸化用ポテンシオスタットからの電気分解に起因する信号とオフセット電圧(0.16V)が供給され、VFC#2にはオフセット電圧のみが供給され、両者を差し引くことでノイズ成分が相殺されて電解起因信号のみが積算される

ように設計されている。

3.2 各機器の校正

校正は、酸化用ポテンシオスタット内の負荷抵抗、オートメーションモジュール内の校正用抵抗、デジタル積分モジュール内の VFC#1、VFC#2、OSC について、Table 1 に示す基準抵抗(100 Ω)、デジタルマルチメーター、ユニバーサルカウンタ、ベンチキャリブレーターを用いて実施した。なお、使用した各計測機器は、ISO/IEC 17025 の認定を受けた SRNL の校正施設にて校正を実施し、電源投入から 30 分以上経過して安定状態になってから使用した。また、基準抵抗は、使用室内の温度を測定し、抵抗値の温度補正を行った。

酸化用ポテンシオスタット内の負荷抵抗(R_{load})及びオートメーションモジュール内の校正用抵抗(R_{cal})の値は、各モジュール及び計測機器を Figure 3 に示すように接続し、ポテンシオスタットで 1 V を印加しながらデジタルマルチメーターで各抵抗間の電圧 V_{std} 、 V_{load} 、 V_{load2} 、 V_{cal} を測定して式(5)、式(6)から求めた。デジタル積分モジュール内の VFC#1、VFC#2、OSC は、ベンチキャリブレーター、デジタルマルチメーター、ユニバーサルカウンタを接続し、ベンチキャリブレーターで 0.5～9 V の電圧を印加した時の出力周波数をユニバーサルカウンタで測定して校正を実施した。

$$R_{load} = \frac{V_{load}}{I_{load}} = \frac{V_{load}}{I_{std}} = \frac{R_{std}}{V_{std}} \cdot V_{load} \quad (5)$$

R_{load}	酸化用ポテンシオスタット内の負荷抵抗(Ω)
V_{load}	負荷抵抗計測時の負荷抵抗両端の電圧(V)
I_{load}	負荷抵抗計測時の負荷抵抗への電流(A)
I_{std}	基準抵抗への電流(A)
R_{std}	基準抵抗の抵抗値(Ω)
V_{std}	基準抵抗両端の電圧(V)

$$R_{cal} = \frac{V_{cal}}{I_{cal}} = \frac{V_{cal}}{I_{load2}} = V_{cal} \cdot \frac{R_{load}}{V_{load2}} \quad (6)$$

R_{cal}	オートメーションモジュール内の校正用抵抗の抵抗値(Ω)
V_{cal}	校正用抵抗両端の電圧(V)
I_{cal}	校正用抵抗への電流(A)
I_{load2}	校正用抵抗計測時の負荷抵抗への電流(A)
V_{load2}	校正用抵抗計測時の負荷抵抗両端の電圧(V)

酸化用ポテンシオスタット内の負荷抵抗及びオートメーションモジュール内の校正用抵抗の測定結果は Figure 4 に、デジタル積分モジュール内の VFC#1、VFC#2、OSC の出力周波数及びクロック数の測定結果は Figure 5 に示す。負荷抵抗及び校正用抵抗の値は、設計値である 50 Ω、100 Ω と±0.14 %以内で良好に一致し、2008 年以降 6 回実施した測定の相対標準偏差は、0.01 %以下と変動はほとんど確認されなかった。また、VFC#1、VFC#2 の出力周波数、OSC のクロック数の測定値は、それぞれ設計値である 1600 Hz、1600 Hz、10000 Hz/V と±0.05 %、±0.04 %、±0.001 %以内で良好に一致し、測定時期による有意な変動も確認されなかった。さらに、測定した各出力周波数とベンチキャリブレーターの印加電圧との相関は R=1.000 であり、良好な直線性を示した。校正終了後、測定した負荷抵抗、校正用抵抗、VFC#1 と VFC#2 の出力周波数、OSC のクロック数の値を電位規制クーロメトリー装置の制御プログラム内へ入力した。これらの結果より、電位規制クーロメトリー装置内の各機器について、SI 単位にトレーサブルとなるように精密に校正することができた。

3.3 カウント数から電気量への変換定数の評価

オートメーションモジュール内の校正用抵抗を使用し、ポテンシオスタットで 1 V の電圧印加時における出力周波数を式(4)を入力してカウント数から電気量への変換定数 C を求めた。なお、この変換定数 C は、装置の待機中及び測定前後に 500 秒/回で 10 回求め、式(7)で求められる設計値⁹⁾と比較した。

$$C_{th} = \frac{1}{L_R \cdot R_S} \times 10^6 = \frac{1}{50 \times 10000 \times 2} \times 10^6 = 1.0000 \mu\text{C}/\text{count} \quad (7)$$

- C_{th} カウント数から電気量への理論変換定数(μC/count)
 L_R 負荷抵抗の抵抗値(設計値: 50 Ω)
 R_S デジタル積分モジュール内の VFC の応答(設計値: 10000 count Hz V⁻¹ × 2)^{*}
 ※VFC への入力値は回路中で 2 倍になるように設計されているため

測定した変換定数 C は、全て 0.9995～1.0005 μC/count の範囲内であり、設計値である 1.0000 μC/count と±0.05 %以内で良好に一致することを確認できた。また、10 回測定の相対標準偏差は、0.0001～0.0002 %であり、装置の設置室内の温度変化や電氣的ノイズの影響によってわずかに変動しているものの、その値は ISO12183 で要求される精度である 0.002 %を十分に満足する値であった。そこで、以降の Pu 標準試料及び硝酸 Pu 溶液の測定では、上述した方法で測定直前に求めた変換定数 C を使用することとした。

4. クーロメトリー装置の性能評価

Pu のクーロメトリー測定にあたっては、使用する電解セル、電極、硝酸濃度の条件で Pu の式量電位である E_{Pu}° を求め、電解時の印加電圧を設定する必要がある。その後、Pu 金属標準物質から調製した標準試料中の Pu 濃度を測定して、本電位規制クーロメトリー装置の性能を評価した。以下にその詳細を示す。

4.1 プルトニウム式量電位の評価

本件で試料の溶解に使用する 0.9 M 硝酸中における E_{Pu}° としては、ISO12183 は 0.668 V vs. SCE⁹⁾、W.D.Shults は 0.69 V vs. SCE⁵⁾、A.Ruas らは 0.673 V vs. SCE¹⁴⁾ と報告している。これらの違いは、使用する電解セルの形状、電極の状態、電解液の種類等の影響によるものと考えられ、電位規制クーロメトリーによる Pu の精密分析にあたっては、実際に使用するシステムにおける E_{Pu}° を事前に評価しておく必要がある。そこで、ISO12183 に記載されている手順に従い、Pu 量が既知の試料を用いて、電解時の溶液電位を測定しながら E_{Pu}° を求めた。

測定結果を Figure 6 に示す。測定は、クーロメトリー装置の校正及び硝酸 Pu 溶液の測定の都度実施し、2008 年から合計 6 回実施した。測定した E_{Pu}° は、0.67~0.70 V vs. SCE の範囲であり、その平均は、0.69 V vs. SCE と W.D.Shults の報告値と一致した⁵⁾。そこで、本件では試料測定の直前に求めた E_{Pu}° から Pu(III)への還元電位及び Pu(IV)への酸化電位を設定して分析を行うこととした。

4.2 測定精度の評価

電位規制クーロメトリーを用いて Pu 標準試料を分析し、装置の測定精度等を評価した。試料には Pu 金属標準物質から調製した 7 グループの試料(STD No.1~No.7)を使用した。Table 2 には測定結果として、各グループの Pu 濃度の繰り返し測定の平均値及び標準物質の証明書に与えられたデータと秤量値に基づいて計算した表示値を示す。なお、測定結果は ISO/BIPM Guide to the Expression of Uncertainties in Measurements (ISO/BIPM-GUM)を参考に不確かさを評価した¹⁵⁾。モデル式には式(1)を用いて、各要素である Q_s 、 Q_b 、 C 、 A_{rPu} 、 F 、 s 、 f_{Pu} の不確かさ成分を見積り、これらの二乗和から合成標準不確かさを評価した。評価の詳細を別添の付録「1. プルトニウム標準試料の測定値の不確かさ評価」に示す。Table 2 には、信頼区間が 95 %となる包含係数 $k=2$ での拡張不確かさを記載した。なお、不確かさは、各グループの繰り返し測定値それぞれについて求め、そのうち最も大きなものを平均値の不確かさとして表中に記した。

その結果、全ての Pu 標準試料の測定値は、表示値と±0.05 %以内にあり、相対拡張不確かさは、0.062 %以下であった。測定値と表示値の間に有意な差は確認されず、両者は、不確かさの範囲内で良好に一致した。また、繰り返し測定の相対標準偏差は、全て 0.05 %以

下であり、本電位規制クーロメトリー装置を使用することで非常に高い精度で Pu を測定できることが分かった。ISO12183 では、クーロメトリーによる Pu の測定精度として 0.1～0.2 %が記載されている。Pu 標準試料の測定結果は、これを十分に満足するレベルであり本法で国際規格に準拠した水準で Pu を測定できることが分かった。

4.3 クーロメトリー装置の長期安定性の評価

装置の長期安定性を確認するため、Pu 標準試料の測定結果と表示値の比を回収率として示し、測定日毎にプロットしたグラフを Figure 7 に示す。その結果、本件で測定を実施した期間内である 2008 年 12 月～2015 年 11 月において、Pu の回収率は、ほぼ 100 %を示しており、測定日による分析値の有意な変動は確認されなかった。本件では、当該期間中にメンテナンス作業として 3 節に示した校正、及び濃硝酸と 8 M 硝酸を用いた作用電極表面の洗浄等を実施した。これらの定期的な校正及び洗浄作業の結果から、7 年間という非常に長い期間でも測定装置の健全性を保つことができ、Pu を安定に測定できたと考えられる。

5. 硝酸プルトニウム溶液の測定

前節までの結果をもとに、Pu を含む混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液中の Pu 濃度の測定を実施した。また、測定値の不確かさについて ISO/BIPM-GUM に基づき評価した。以下にその詳細を示す。

5.1 硝酸プルトニウム溶液の分析結果

混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液は、Pu 標準試料と同様の手順で測定を行った。試料には、調製日の異なる 3 グループの硝酸 Pu 溶液(No.1~No.3)を使用した。なお、全ての試料中には有意量のウラン(U)と鉄(Fe)を含んでいた。米国試験材料協会(ASTM; American Society for Testing and Materials)では、U/Pu 比で 10 倍量までの U は、Pu のクーロメトリー測定に影響を与えないことを報告している¹⁶⁾。これは、U の標準酸化還元電位が Pu よりも大きく負側にあるため、Pu の測定における設定電位では電気化学的な反応を起こすことはないためである。本試料中の U 濃度は、最大でも 400 $\mu\text{g/g}$ 程度であり、Pu 濃度(10~15 mg/g)と比べると 1/25 以下と測定への影響は考えられない。一方、Fe は、硝酸溶液中で標準酸化還元電位が 0.48 V vs SCE と Pu と近接しているため⁵⁾、同時に測定されてしまい、分析結果に正の誤差を与える要因となる。そこで、本試験では、クーロメトリーの測定前に、硝酸 Pu 溶液中の Fe 濃度を誘導結合プラズマ発光分光分析法(ICP-AES)で測定した。測定は、Eichrom 製 TEVA レジンをういて試料中の Pu を取り除いたのち、Seiko Instruments 製 SPS7700 を使用して検量線法で定量した。その後、式(8)を用いて Fe 濃度の影響を補正した⁹⁾。なお、式(8)中の Fe の電解率は、予め測定した Fe の式量電位(0.49 V vs. SCE)を式(3)に入力して求めた。

$$C'_{\text{Pu}} = C_{\text{Pu}} - C_{\text{Fe}} \cdot \frac{f_{\text{Fe}} \cdot A_{\text{rPu}}}{1000 \cdot f_{\text{Pu}} \cdot A_{\text{rFe}}} \quad (8)$$

C'_{Pu}	補正後の Pu 濃度(mg/g)
C_{Pu}	測定した Pu 濃度(mg/g)
C_{Fe}	試料中の Fe 濃度($\mu\text{g/g}$)
f_{Pu}	Pu の電解率
f_{Fe}	Fe の電解率
A_{rPu}	Pu のグラム当量(g/mol)
A_{rFe}	Fe のグラム当量(g/mol)

電位規制クーロメトリーで測定後、Fe の寄与分を補正した硝酸 Pu 溶液の測定結果を Table 3 に示す。測定した 3 グループの試料の繰り返し測定の平均値は、15.599 mg/g 、10.0446 mg/g 、10.0235 mg/g であり、相対標準偏差はそれぞれ 0.02 %、0.02 %、0.05 %

と非常に高い精度で Pu 濃度を分析することができた。また、比較のために実施した IDMS の結果は、クーロメトリーによる測定値と $\pm 0.13\%$ の範囲内で良好に一致した。これらの結果から、本件で使用した電位規制クーロメトリー装置で混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液を良好に測定できることが分かった。

5.2 硝酸プルトニウム溶液の不確かさ評価結果

測定した硝酸 Pu 溶液の測定値について ISO/BIPM-GUM に基づき、式(8)をモデル式として不確かさを評価した。不確かさの評価にあたっては、4.2 節と同様に式中の各要素の不確かさ成分を見積り、これらの二乗和から合成標準不確かさを評価した。評価の詳細を別添の付録「2. 硝酸プルトニウム溶液の測定値の不確かさ評価」に示す。Table 3 には、信頼区間が 95 %となる包含係数 $k=2$ での拡張不確かさを記載した。なお、不確かさは、各グループの繰り返し測定値それぞれについて求め、そのうち最も大きなものを平均値の不確かさとして記した。

その結果、3 グループの相対拡張不確かさは、0.064 %、0.069 %、0.063 %であり、全て ISO12183 に記載されている精度 0.1~0.2 %を下回るレベルで精密に Pu を分析できていることがわかった。また、測定した 3 グループの硝酸 Pu 溶液について、各入力量が測定の不確かさに与える影響を考察するため、不確かさの内訳を求めた。結果を Figure 8、Figure 9、Figure 10 に示す。この結果、3 グループ全てで最も大きな割合を占めた不確かさの要因は、試料溶液の積算カウント数 Q_s とブランク溶液の測定値 Q_b であり、それぞれ不確かさ全体の約 40%、20%を占めていた。その他の要因としては、Pu 試料の採取重量 s 、Pu の電解率 f_{Pu} があり、それぞれ不確かさ全体の約 20%、10%を占めていた。 Q_s 、 Q_b による不確かさを小さくするためには、装置内の各抵抗、VFC と QCO の周波数、及びカウント数から電気量への変換定数 C 等を精確に見積もる必要があり、本件で実施した装置の校正等の作業が測定精度の向上のために極めて重要であることが分かった。また、 s 及び f_{Pu} による不確かさを小さくするためには、試料の前処理を慎重に実施するとともに、Pu の式量電位についても精確に見積もる必要がある。

6. まとめ

電位規制クーロメトリーを用いて、混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液の値付けのための分析を実施した。クーロメトリー装置は、SRNL との共同研究により、SI 単位にトレーサブルな計測機器を用いて精密に校正した。その結果、装置の健全性を確認するために求めたカウント数から電気量への変換定数 C は、設計値である $1.0000 \mu\text{C}/\text{count}$ と $\pm 0.05\%$ 以内で良好に一致し、測定の繰り返し相対標準偏差も $0.0001 \sim 0.0002\%$ と ISO12183 で求められる精度を十分に満足する値が得られた。

装置の性能評価のために Pu 金属標準物質から調製した標準試料を分析した結果、測定値は表示値と $\pm 0.05\%$ 以内、繰り返し測定の相対標準偏差も 0.05% 以下であり非常に高い精度で Pu を分析できることが分かった。また、7 年間という長期間に渡る Pu の測定値にも有意な変動は確認されず、本クーロメトリー装置で良好に Pu の測定ができることが分かった。そこで、 ^{239}Pu を比較的多く含む混合酸化物粉末から精製した硝酸 Pu 溶液の値付けのための分析を実施した。調製時期の異なる 3 グループの試料を測定した結果、分析値は、 $15.599 \pm 0.010 \text{ mg/g}$ (RSD 0.02%)、 $10.0446 \pm 0.0069 \text{ mg/g}$ (RSD 0.02%)、 $10.0235 \pm 0.0063 \text{ mg/g}$ (RSD 0.05%) であった。測定結果は、ISO12183 に記載されている測定精度である $0.1 \sim 0.2\%$ を十分に満足する値であり、比較分析として実施した IDMS の測定結果とも $\pm 0.13\%$ の範囲内で良好に一致した。これらの結果から、本電位規制クーロメトリーを使用することで、標準物質の測定法としての精度を満足する水準で精密に Pu を定量することができた。

参考文献

- 1) Surugaya, N., Hiyama, T., Verbruggen, A. and Wellum, R.: "Preparation, certification and validation of a stable solid spike of uranium and plutonium coated with a cellulose derivative for the measurement of uranium and plutonium content in dissolved nuclear fuel by isotope dilution mass spectrometry", *Anal. Sci.*, **24**, 2008, pp.247-252.
- 2) Jammet, G., Doubek, N., Berger, S., Raab, W., Bagliano G. and Deron, S.: "Preparation and validation of a large batch of dried spikes: Batch SAL-9934", Report IAEA/AL/029, May 1990.
- 3) 鈴木徹, 久野祐輔: "核物質標準の国内調達に向けて 保障措置上不可欠な核物質標準をいかに確保するか", *日本原子力学会誌*, **51**, 8, 2009, pp.606-610.
- 4) Bergey, C.: "Precise coulometric determination of uranium, plutonium and americium –application to small samples", *Microchimica Acta*, **76**, 1981, pp.207-217.
- 5) Shults, W.D.: "Applications of controlled-potential coulometry to the determination of plutonium", *Talanta*, **10**, 1963, pp.833-849.
- 6) Holland, M.K., Weiss, J.R. and Pietri, C.E.: "Controlled-potential coulometric determination of plutonium", *Anal. Chem.*, **50**, 1978, pp.236-240.
- 7) Duigou, Y.L., Leidert, W. and Bickel, M.: "A controlled potential coulometer for high precision uranium and plutonium analysis Part II: Application and performance", *Fresenius J. Anal. Chem.*, **351**, 1995, pp.499-506.
- 8) Neuhoff, J., Voeks, A., Srinivasan, B., Temer, D. and Holland, M.: "Production of replacement certified reference materials for uranium oxide (129-A) and plutonium (126-A)", *Proceedings of INMM 45th Annual Meeting*, 2004.
- 9) ISO/TC85/SC5: "Nuclear fuel technology - Controlled-potential coulometry assay of plutonium", Third Edition, ISO 12183:2016.
- 10) 久野剛彦、佐藤宗一、池田久、マイケル K ホランド、ジョセフ V コーダロ: "再処理施設計量管理分析におけるプルトニウム測定用高精度クーロメーターの開発", *サイクル機構技報*, **9**, 2000, pp.57-63.
- 11) 山本昌彦、石橋篤、永山哲也、駿河谷直樹、黒沢明、檜山敏明: "電位規制クーロメトリによる硝酸プルトニウム溶液の精密分析と不確かさ評価", *JAEA-Technology 2010-040*, 2010, 28p.
- 12) Holland, M.K. and Cordaro, J.V.: "An automated instrument for controlled-potential coulometry: System documentation", U.S. Department of Energy Publication, DP-1751, 1988.

- 13) 駿河谷直樹、佐藤宗一、雛哲郎、檜山敏明: “酢酸セルロース化合物をコーティング剤としたウラン・プルトニウム分析用標準物質の開発”, サイクル機構技報, **18**, 2003, pp.83-90.
- 14) Ruas, A., Leguay, N., Sueur, R., Vedel, N., Dalier, V. and Moisy, P.: “High accuracy plutonium mass determination by controlled-potential coulometry”, *Radiochim. Acta*, **102**, 2014, pp.691-699.
- 15) JCGM/WG1: “Guide to the expression of uncertainty in measurement”, JCGM 100:2008.
- 16) ASTM C698, “Annual Book of ASTM Standards, Nuclear Energy (I)”, 1990, p.125.

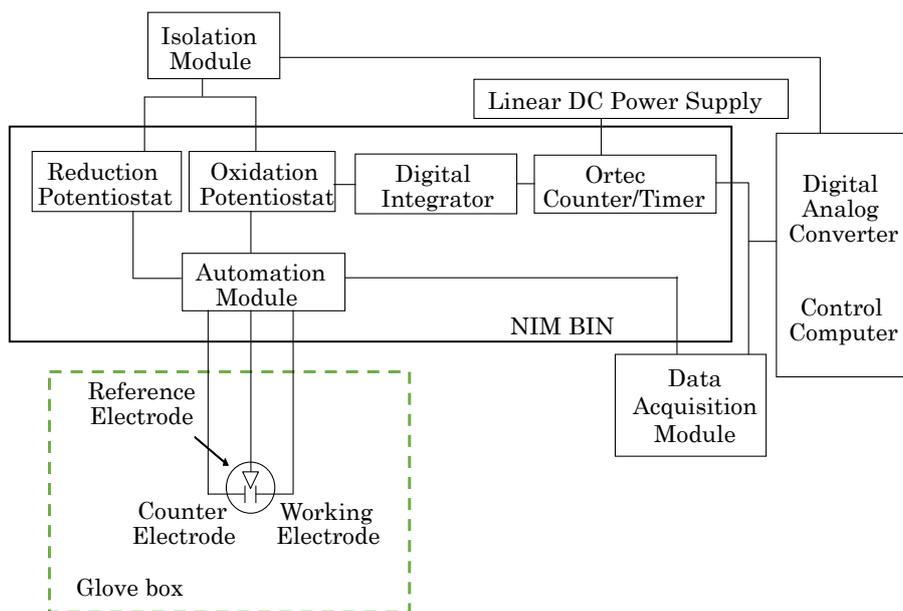


Figure 1 Block diagram of the coulometer system used in this study

The system was composed of cell assembly located inside the glove box, and the other components located outside the glove box.

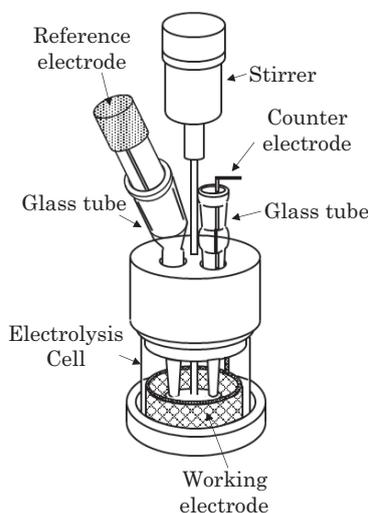


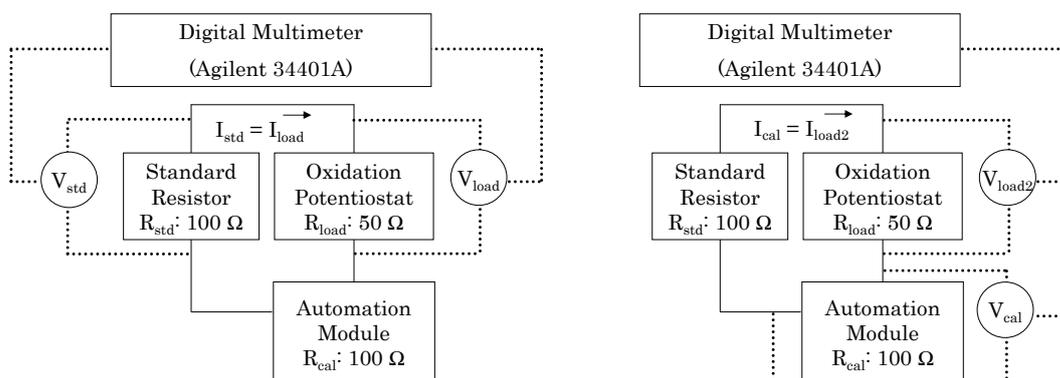
Figure 2 Schematic drawing of the cell assembly installed into the glove box

A glass cell of 30 mL volume was used as a measurement cell. A gold electrode, a saturated calomel electrode and a platinum electrode were used as working, reference and counter electrode, respectively.

Table 1 Test equipment used for component calibration of the coulometer system

An ISO/IEC 17025 accredited calibration laboratory at the Savannah River National Laboratory calibrated all equipment in the table.

Calibrated test equipment	Manufacturer	Model
Standard Resistor (100 Ω)	Automatic Systems Laboratory	Model RR100
Digital Multimeter	Agilent Technologies	34401A
Universal Counter	Agilent Technologies	53131A
Standard Voltage/Current Bench Calibrator	Martel Electronics	Model 2000



(a) Circuit diagram at oxidation potentiostat calibration

(b) Circuit diagram at automation module calibration

Figure 3 Circuit diagram during calibration implementation

Oxidation potentiostat applied 1 V during both calibrations. The digital multimeter was used to measure voltages between each resistor.

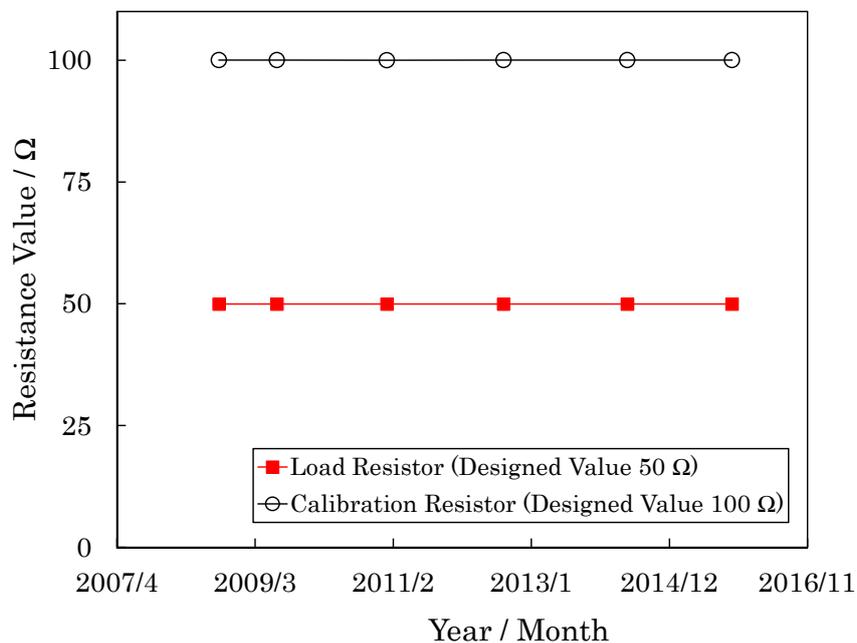


Figure 4 Resistivities of load resistor and calibration resistor

The rectangular dot indicated the load resistor value inside oxidation potentiostat. The circle dot indicated the calibration resistor value inside the automation module.

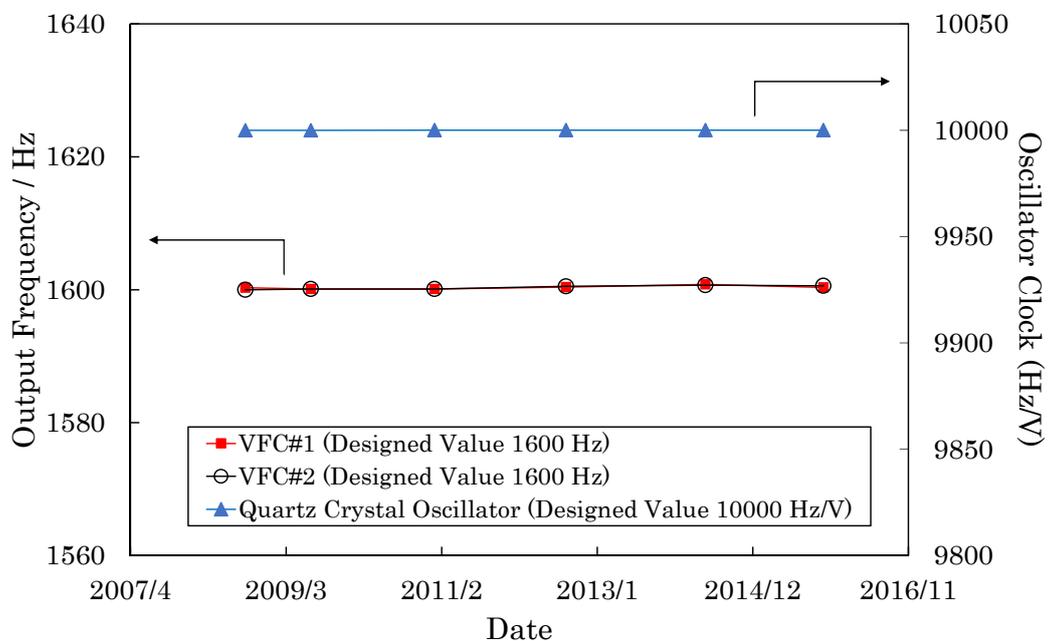


Figure 5 Frequencies and clocks of equipment inside digital integrator

The rectangular dot indicated the VFC#1 frequencies. The circle dot indicated the VFC#2 frequencies. The triangle dot indicated the QCO clocks.

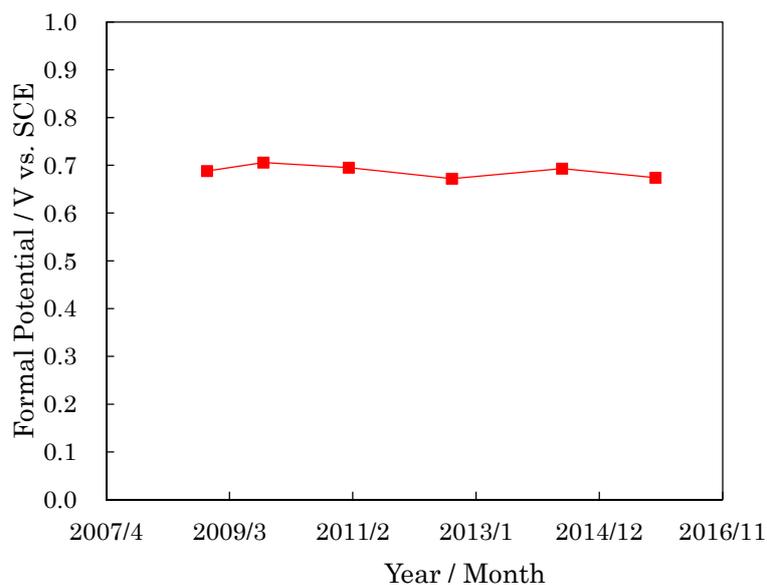


Figure 6 Measurement results of plutonium formal potential in 0.9 M HNO₃
 The formal potential measurements were performed before Pu sample measurements.
 The average value of plutonium formal potential was 0.69 V vs. SCE.

Table 2 Analytical results of plutonium standard samples

The samples were prepared from CRM126 plutonium metal. The measurement and referenced values include total uncertainties at the 95 % confidence interval ($k = 2$).

Group (Replicates)	Coulometric Measurement Results			Referenced Values	
	Concentration of Pu (mg/g)	Relative Expanded Uncertainty (%)	RSD (%) ^{*1}	Concentration of Pu (mg/g)	Diff. (%) ^{*2}
STD No.1 (n=17)	5.0172±0.0030	0.060	0.05	5.0192±0.0015	-0.04
STD No.2 (n=10)	1.71730±0.00090	0.052	0.05	1.71655±0.00051	0.04
STD No.3 (n=12)	4.9836±0.0027	0.054	0.02	4.9843±0.0015	-0.01
STD No.4 (n=15)	4.7164±0.0029	0.061	0.04	4.7164±0.0014	0.00
STD No.5 (n=5)	4.7247±0.0029	0.061	0.03	4.7247±0.0014	0.00
STD No.6 (n=5)	8.9413±0.0055	0.062	0.04	8.9402±0.0027	0.01
STD No.7 (n=2)	1.6980±0.0010	0.058	0.03	1.69881±0.00051	-0.05

*1: RSD stands for relative standard deviation of coulometric measurements.

*2: Diff. stands for difference of coulometric measurement result from referenced value.

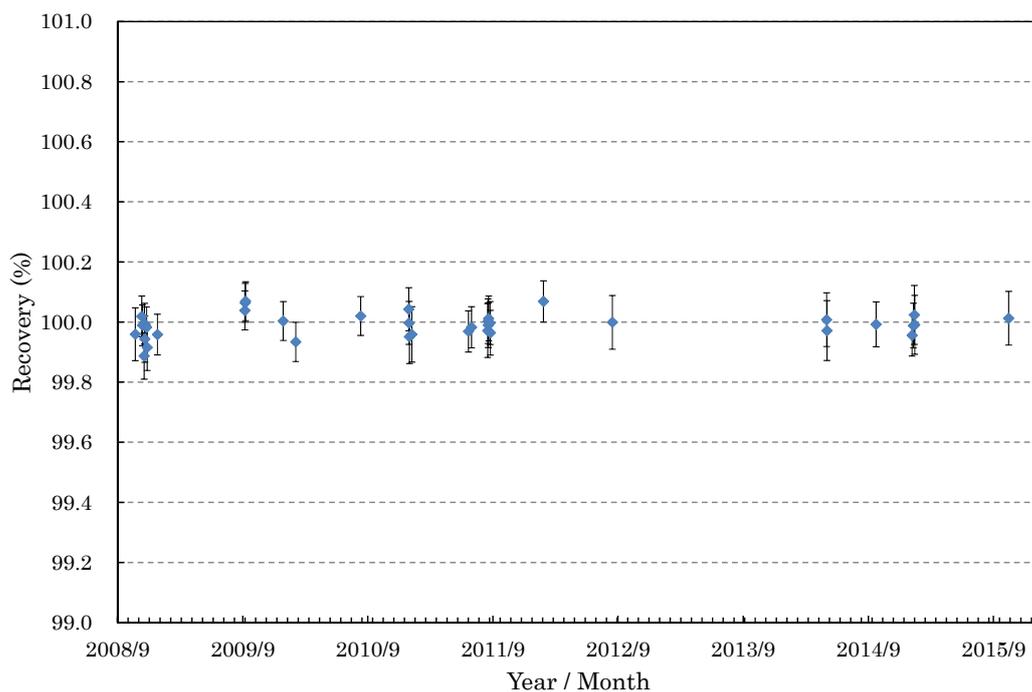


Figure 7 Measurement date dependency of coulometric results
 The recovery indicated the ratio of coulometric results and referenced value.
 The error bar was uncertainty at the 95 % confidence interval ($k = 2$).

Table 3 Analytical results of plutonium nitrate solution from mixed oxide powder
 The measurement values include total uncertainties at the 95 % confidence interval ($k = 2$).
 The samples were also measured by IDMS to compare with coulometric results.

Sample (Replicate)	Coulometric Measurement Results			Diff. (%) ^{*2}
	Concentration of Pu (mg/g) ^{*1}	Relative Expanded Uncertainty (%)	RSD (%) ^{*1}	
No.1 (n=8)	15.599 ± 0.010	0.064	0.02	-0.06
No.2 (n=12)	10.0446 ± 0.0069	0.069	0.02	0.02
No.3 (n=11)	10.0235 ± 0.0063	0.063	0.05	0.13

^{*1}: RSD stands for relative standard deviation of coulometric measurements.

^{*2}: Diff. stands for difference of coulometric measurement result from referenced value.

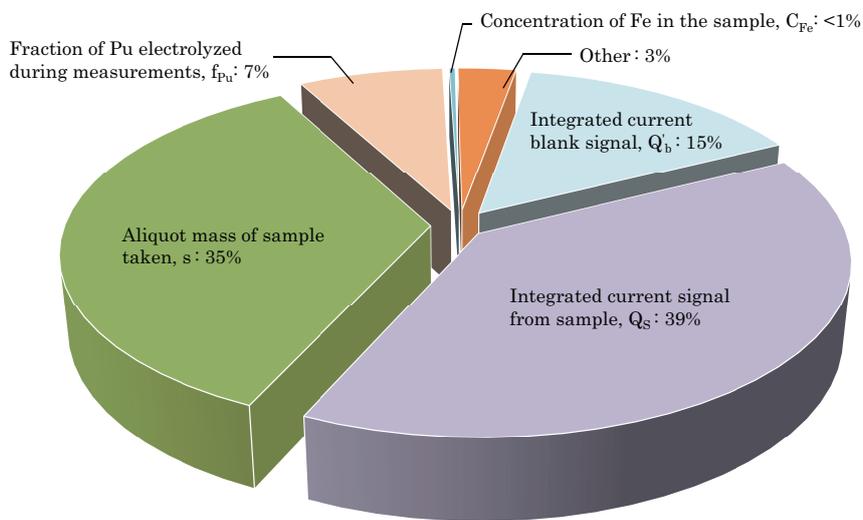


Figure 8 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.1
 The contribution of each parameter was evaluated from sensitivity coefficient from ISO/BIPM GUM uncertainty calculation results.

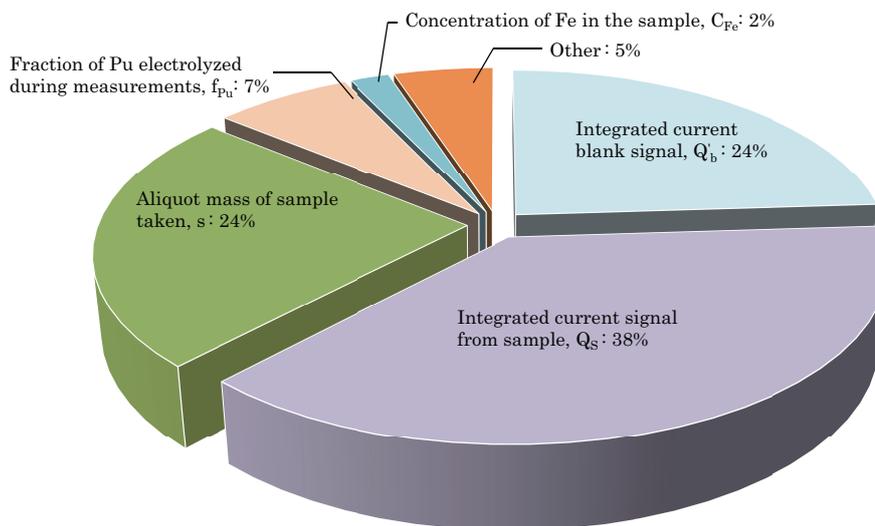


Figure 9 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.2
 The contribution of each parameter was evaluated from sensitivity coefficient from ISO/BIPM GUM uncertainty calculation results.

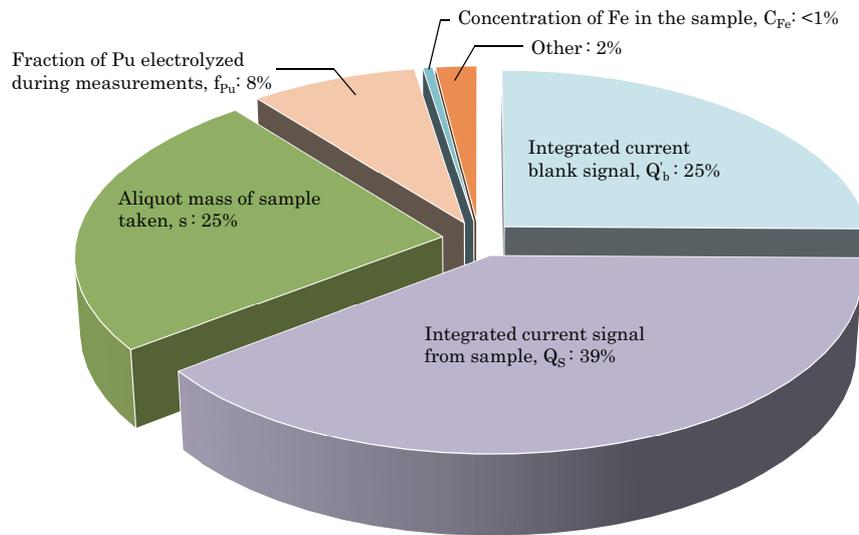


Figure 10 Relative contributions to the uncertainty of Pu nitrate solution No.3
 The contribution of each parameter was evaluated from sensitivity coefficient from ISO/BIPM GUM uncertainty calculation results.

付録

クーロメトリー測定値の不確かさ評価

クーロメトリーを測定した Pu 標準試料及び硝酸 Pu 溶液中の Pu 濃度測定値の不確かさは、ISO/BIPM-GUM を参考に評価した。その基本的な考え方は、測定に不確かさを与える要因を選定し、各要因の不確かさ成分を評価して、これを合成して全体の不確かさを求めようとするものである。例えば、測定の数学的モデルが $y=f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ で与えられるときに、測定値 y の不確かさ $U_c(y)$ は、入力量 x_i の不確かさ成分 $u(x_i)$ と感度係数である関数 f の偏微分係数 c_i から $U_c(y)^2 = \sum [c_i \cdot u(x_i)]^2$ で表される。そこで本件では、Pu 濃度の算出式をモデル式として各測定値の不確かさを評価した。

1. プルトニウム標準試料の測定値の不確かさ評価

Pu 標準試料の不確かさは、以下の式(A-1)をモデル式として、測定に不確かさを与える要因としては式中の各入力量(C、 Q_s 、 Q'_b 、 f_{Pu} 、s、 A_{rPu} 、F)を選定した。各入力量の不確かさ成分 $u(C)$ 、 $u(Q_s)$ 、 $u(Q'_b)$ 、 $u(f_{Pu})$ 、 $u(s)$ 、 $u(A_{rPu})$ 、 $u(F)$ は式(A-2)で合成し測定値の不確かさ $U(C_{Pu})$ とした。

$$C_{Pu} = \frac{(Q_s \cdot C - Q'_b) \cdot A_{rPu}}{1000 \cdot F \cdot s \cdot f_{Pu}} \quad (A-1)$$

$$U(C_{Pu})^2 = \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial C}\right)^2 \cdot u(C)^2 + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial Q_s}\right)^2 \cdot u(Q_s)^2 + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial Q'_b}\right)^2 \cdot u(Q'_b)^2 + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial f_{Pu}}\right)^2 \cdot u(f_{Pu})^2 \\ + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial s}\right)^2 \cdot u(s)^2 + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial A_{rPu}}\right)^2 \cdot u(A_{rPu})^2 + \left(\frac{\partial C_{Pu}}{\partial F}\right)^2 \cdot u(F)^2 \quad (A-2)$$

各入力量の不確かさ成分は以下①～⑤に示すように評価した。

① カウント数から電気量への変換定数 C の不確かさ成分 $u(C)$

カウント数から電気量への変換定数 C の不確かさ成分 $u(C)$ は、本文 3.1 節の式(4)から以下で表すことができる。

$$u(C)^2 = \left(\frac{\partial C}{\partial V_C}\right)^2 \cdot u(V_C)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial t_C}\right)^2 \cdot u(t_C)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial R_C}\right)^2 \cdot u(R_C)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial Q_C}\right)^2 \cdot u(Q_C)^2 \quad (A-3)$$

式(A-3)中の電圧 V_C 、測定時間 t_C 、校正用抵抗の抵抗値 R_C の不確かさ成分 $u(V_C)$ 、 $u(t_C)$ 、 $u(R_C)$ は装置及び校正用抵抗の仕様を基に ISO/BIPM-GUM に記載されているタイプ B の不

確かさとして求め、測定カウント数 Q_C の不確かさ成分 $u(Q_C)$ は SRNL で評価した値を使用した。これらを式(A-3)で合成後、SRNL で評価した設置室内の温度変化による不確かさ成分と繰り返し測定の標準偏差から評価した不確かさ成分を加えて $u(C)$ とした。

② 試料溶液の積算カウント数 Q_S の不確かさ成分 $u(Q_S)$

試料溶液の積算カウント数 Q_S の不確かさ成分 $u(Q_S)$ は、試料の測定カウント数の日間変動及び日内変動の標準偏差から ISO-BIPM/GUM に記載されているタイプ A の不確かさとして評価した。この値と当該試料の積算カウント数の比から、各試料で測定した積算カウント数の不確かさ成分 $u(Q_S)$ を求めた。

③ 補正後のブランク溶液の測定値 Q'_b の不確かさ成分 $u(Q'_b)$

補正後のブランク溶液の測定値 Q'_b の不確かさ成分 $u(Q'_b)$ は本文 2.6 節の式(2)から以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 u(Q'_b)^2 = & \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial Q_b}\right)^2 \cdot u(Q_b)^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial C}\right)^2 \cdot u(C)^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial I_B}\right)^2 \cdot u(I_B)^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial I_S}\right)^2 \cdot u(I_S)^2 \\
 & + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial t_B}\right)^2 \cdot u(t_B)^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial t_S}\right)^2 \cdot u(t_S)^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial S_{ox}}\right)^2 \cdot u(S_{ox})^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial S_{red}}\right)^2 \cdot u(S_{red})^2 \\
 & + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial B_{ox}}\right)^2 \cdot u(B_{ox})^2 + \left(\frac{\partial Q'_b}{\partial B_{red}}\right)^2 \cdot u(B_{red})^2 \quad (A-4)
 \end{aligned}$$

ブランク溶液の積算カウント数 Q_b の不確かさ成分 $u(Q_b)$ は測定カウント数の日内変動及び日間変動の標準偏差から ISO/BIPM-GUM に記載されているタイプ A の不確かさとして求めた。ブランク及び試料酸化時の残余電流 I_B 、 I_S 、ブランク及び試料の酸化時間 t_B 、 t_S 、ブランク及び試料酸化還元時時の最終印加電圧 B_{ox} 、 B_{red} 、 S_{ox} 、 S_{red} の不確かさ成分 $u(I_B)$ 、 $u(I_S)$ 、 $u(t_B)$ 、 $u(t_S)$ 、 $u(B_{ox})$ 、 $u(B_{red})$ 、 $u(S_{ox})$ 、 $u(S_{red})$ は装置の仕様を基に ISO/BIPM-GUM に記載されているタイプ B の不確かさとして求めた。これらを式(A-4)で合成して補正後のブランク溶液の測定値 Q'_b の不確かさ成分 $u(Q'_b)$ とした。

④ プルトニウムの電解率 f_{Pu} の不確かさ成分 $u(f_{Pu})$

Pu の電解率 f_{Pu} の不確かさ成分 $u(f_{Pu})$ は本文 2.6 節の式(3)から以下のように表される。

$$\begin{aligned}
 u(f_{Pu})^2 = & \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial E_{Pu}^o}\right)^2 \cdot u(E_{Pu}^o)^2 + \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial S_{ox}}\right)^2 \cdot u(S_{ox})^2 + \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial S_{red}}\right)^2 \cdot u(S_{red})^2 \\
 & + \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial F}\right)^2 \cdot u(F)^2 + \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial R}\right)^2 \cdot u(R)^2 + \left(\frac{\partial f_{Pu}}{\partial T}\right)^2 \cdot u(T)^2 \quad (A-5)
 \end{aligned}$$

Pu の式量電位 E_{Pu}° の不確かさ成分 $u(E_{\text{Pu}}^{\circ})$ は繰り返し測定 of 標準偏差を基に ISO/BIPM-GUM に記載されているタイプ A の不確かさとして求めた。また、気体定数 R の不確かさ成分 $u(R)$ は 2006 年 CODATA 推奨値からタイプ B の不確かさとして求め ^{A1)}、試料溶液の温度 T の不確かさ成分 $u(T)$ は使用した温度計の仕様を基に評価した。これらを式(A-5)で合成して Pu の電解率 f_{Pu} の不確かさ成分 $u(f_{\text{Pu}})$ とした。

⑤その他の不確かさ成分

Pu 試料の採取重量 s の不確かさ成分 $u(s)$ は、天秤の校正に使用した分銅の不確かさ成分、天秤の読み取り精度から求めた不確かさ成分、天秤の再現性に由来する不確かさ成分(浮力補正時の環境温度や大気圧の変動を含む)を合成して求めた。また、Pu のグラム当量 A_{rPu} の不確かさ成分 $u(A_{\text{rPu}})$ は Pu 金属標準物質の証明書の記載値及びファラデー定数 F の不確かさ成分 $u(F)$ は 2006 年 CODATA の推奨値より求めた ^{A1)}。

以上の結果を基に求めた Pu 標準試料の測定値の不確かさ ($k = 1$) を Table A-1～Table A-66 に示す。

2. 硝酸プルトニウム溶液の測定値の不確かさ評価

硝酸 Pu 溶液の不確かさは、以下の式(A-6)をモデル式として、測定に不確かさを与える要因としては式中の各入力量(C 、 Q_{S} 、 Q'_{b} 、 f_{Pu} 、 s 、 A_{rPu} 、 F 、 C_{Fe} 、 f_{Fe} 、 A_{rFe})を選定した。各入力量の不確かさ成分 $u(C)$ 、 $u(Q_{\text{S}})$ 、 $u(Q'_{\text{b}})$ 、 $u(f_{\text{Pu}})$ 、 $u(s)$ 、 $u(A_{\text{rPu}})$ 、 $u(F)$ 、 $u(C_{\text{Fe}})$ 、 $u(f_{\text{Fe}})$ 、 $u(A_{\text{rFe}})$ は式(A-7)で合成し測定値の不確かさ $U(C'_{\text{Pu}})$ とした。

$$C'_{\text{Pu}} = \frac{(Q_{\text{S}} \cdot C - Q'_{\text{b}}) \cdot A_{\text{rPu}}}{1000 \cdot F \cdot s \cdot f_{\text{Pu}}} - C_{\text{Fe}} \cdot \frac{f_{\text{Fe}} \cdot A_{\text{rPu}}}{1000 \cdot f_{\text{Pu}} \cdot A_{\text{rFe}}} \quad (\text{A-6})$$

$$\begin{aligned} U(C'_{\text{Pu}})^2 = & \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial C} \right)^2 \cdot u(C)^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial Q_{\text{S}}} \right)^2 \cdot u(Q_{\text{S}})^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial Q'_{\text{b}}} \right)^2 \cdot u(Q'_{\text{b}})^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial f_{\text{Pu}}} \right)^2 \cdot u(f_{\text{Pu}})^2 \\ & + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial s} \right)^2 \cdot u(s)^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial A_{\text{rPu}}} \right)^2 \cdot u(A_{\text{rPu}})^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial F} \right)^2 \cdot u(F)^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial C_{\text{Fe}}} \right)^2 \cdot u(C_{\text{Fe}})^2 \\ & + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial f_{\text{Fe}}} \right)^2 \cdot u(f_{\text{Fe}})^2 + \left(\frac{\partial C'_{\text{Pu}}}{\partial A_{\text{rFe}}} \right)^2 \cdot u(A_{\text{rFe}})^2 \end{aligned} \quad (\text{A-7})$$

各入力量の不確かさ成分のうち $u(C)$ 、 $u(Q_{\text{S}})$ 、 $u(Q'_{\text{b}})$ 、 $u(f_{\text{Pu}})$ 、 $u(s)$ 、 $u(F)$ は前節と同様の方法で求めた。 $u(A_{\text{rPu}})$ は表面電離型質量分析装置での同位体測定結果のデータを基に求めた。 $u(C_{\text{Fe}})$ は繰り返し測定 of 標準偏差を基に ISO/BIPM-GUM に記載されているタイプ A

の不確かさとして求めた。 $u(f_{\text{Fe}})$ は Fe の式量電位の繰り返し測定結果から評価した不確かさ成分を式(A-5)に入力して求めた。 $u(A_{\text{rFe}})$ は 2006 年 CODATA 推奨値から求めた^{A1)}。以上の結果から求めた硝酸 Pu 溶液の不確かさ($k=1$)を Table A-67~A-97 に示す。

参考文献

- A1) Mohr, P.J., Taylor, B.N. and Newell, D.B.: “CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2006”, J. Phys. Chem. Ref. Data, **37**, 2008, pp.1187-1284.

Table A-1 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9995660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	1.8 %
Q _S	$4.30346 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.2×10^{-6}	48.5 %
Q _b	9858 μC	800 μC	-1.2×10^{-6}	38.3 %
f _{Pu}	0.9990700	90.0×10^{-6}	-5.0	9.0 %
s	2.121900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.4	2.4 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01627 mg/g	$1.51 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-2 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000020 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	1.8 %
Q _S	$4.28984 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.2×10^{-6}	48.5 %
Q _b	6997 μC	800 μC	-1.2×10^{-6}	38.3 %
f _{Pu}	0.9991200	90.0×10^{-6}	-5.0	8.9 %
s	2.114600 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.4	2.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.02292 mg/g	$1.52 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-3 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000010 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	1.8 %
Q _S	$4.29822 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.2×10^{-6}	48.5 %
Q _b	6407 μC	800 μC	-1.2×10^{-6}	38.3 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-5.0	8.9 %
s	2.121400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.4	2.4 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01715 mg/g	$1.51 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-4 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996850 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{pulse}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.21232 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	960×10^{-9}	51.4 %
Q _b	7146 μC	800 μC	-960×10^{-9}	32.9 %
f _{Pu}	0.9987700	90.0×10^{-6}	-5.0	11.3 %
s	2.572700 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.0	2.1 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01779 mg/g	$1.34 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-5 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996840 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.23091 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	960×10^{-9}	51.4 %
Q _b	7404 μC	800 μC	-960×10^{-9}	32.9 %
f _{Pu}	0.9990300	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.583300 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.9	2.1 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01349 mg/g	$1.34 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-6 Uncertainty budget for sample No.6 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996760 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.21299 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	960×10^{-9}	51.4 %
Q _b	6734 μC	800 μC	-960×10^{-9}	32.9 %
f _{Pu}	0.9990300	90.0×10^{-6}	-5.0	11.3 %
s	2.574000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.9	2.1 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01495 mg/g	$1.34 \cdot 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-7 Uncertainty budget for sample No.7 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.18391 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	970×10^{-9}	51.5 %
Q _b	8041 μC	800 μC	-970×10^{-9}	33.0 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-5.0	11.2 %
s	2.558100 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.0	2.1 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01633 mg/g	$1.35 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-8 Uncertainty budget for sample No.8 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9995660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.20135 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	960×10^{-9}	51.4 %
Q _b	6344 μC	800 μC	-970×10^{-9}	32.9 %
f _{Pu}	0.9990900	90.0×10^{-6}	-5.0	11.3 %
s	2.569700 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.0	2.1 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01163 mg/g	$1.35 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-9 Uncertainty budget for sample No.9 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000130 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.4 %
Q _S	$6.42740 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	780×10^{-9}	61.0 %
Q _b	6395 μC	800 μC	-780×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-5.0	12.1 %
s	3.173400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01790 mg/g	$1.30 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-10 Uncertainty budget for sample No.10 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000120 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.4 %
Q _S	$6.37973 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.1 %
Q _b	10578 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9989800	90.0×10^{-6}	-5.0	11.9 %
s	3.146900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.02014 mg/g	$1.31 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-11 Uncertainty budget for sample No.11 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000090 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.36270 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.1 %
Q _b	9000 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9990500	90.0×10^{-6}	-5.0	11.9 %
s	3.140200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01828 mg/g	$1.31 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-12 Uncertainty budget for sample No.12 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000080 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.36876 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.1 %
Q _b	7886 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9990200	90.0×10^{-6}	-5.0	11.9 %
s	3.143600 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01866 mg/g	$1.25 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-13 Uncertainty budget for sample No.13 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996840 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.34458 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.2 %
Q _b	7931 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9990100	90.0×10^{-6}	-5.0	11.8 %
s	3.130500 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01889 mg/g	$1.32 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-14 Uncertainty budget for sample No.14 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.36928 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.1 %
Q _b	6632 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9990000	90.0×10^{-6}	-5.0	11.9 %
s	3.145200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01595 mg/g	$1.31 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-15 Uncertainty budget for sample No.15 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996640 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.35204 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.2 %
Q _b	10285 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-5.0	11.8 %
s	3.133700 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01700 mg/g	$1.32 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-16 Uncertainty budget for sample No.16 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.34432 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.2 %
Q _b	6428 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9989500	90.0×10^{-6}	-5.0	11.8 %
s	3.131600 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01831 mg/g	$1.32 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-17 Uncertainty budget for sample No.17 of STD No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9995660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$6.36752 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	790×10^{-9}	61.1 %
Q _b	7003 μC	800 μC	-790×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9991800	90.0×10^{-6}	-5.0	11.9 %
s	3.142500 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.6	1.5 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	5.01711 mg/g	$1.31 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-18 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000460 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.73422 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	260×10^{-9}	64.4 %
Q _b	6165 μC	800 μC	-260×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9990300	90.0×10^{-6}	-1.7	12.1 %
s	9.718000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.717209 mg/g	$445 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-19 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000460 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.77261 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	6655 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9990900	90.0×10^{-6}	-1.7	12.2 %
s	9.771000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.717413 mg/g	$443 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-20 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000450 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.78473 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	6326 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9990300	90.0×10^{-6}	-1.7	12.2 %
s	9.788200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.717650 mg/g	$443 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-21 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999970 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.78064 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	5618 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-1.7	12.2 %
s	9.786000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.716891 mg/g	$443 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-22 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999770 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.75637 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.3 %
Q _b	6358 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-1.7	12.1 %
s	9.758100 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.715409 mg/g	$444 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-23 Uncertainty budget for sample No.6 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999780 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{pulse}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.79733 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	5584 μC	800 μC	-250×10^{-9}	20.9 %
f _{Pu}	0.9992200	90.0×10^{-6}	-1.7	12.3 %
s	9.802200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.718132 mg/g	$442 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-24 Uncertainty budget for sample No.7 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000010 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	$6.77094 \times 10^6 \text{ count}$	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	5380 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9989100	90.0×10^{-6}	-1.7	12.2 %
s	9.776300 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.716612 mg/g	$443 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-25 Uncertainty budget for sample No.8 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000000 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.3 %
Q _S	6.63318×10^6 count	1400 count	260×10^{-9}	64.6 %
Q _b	6802 μC	800 μC	-260×10^{-9}	21.1 %
f _{Pu}	0.9988900	90.0×10^{-6}	-1.7	11.8 %
s	9.567500 g	100×10^{-6} g	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.718023 mg/g	452×10^{-6} mg/g		

Table A-26 Uncertainty budget for sample No.9 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000360 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	6.75130×10^6 count	1400 count	250×10^{-9}	64.3 %
Q _b	5758 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9991100	90.0×10^{-6}	-1.7	12.1 %
s	9.738400 g	100×10^{-6} g	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.717912 mg/g	445×10^{-6} mg/g		

Table A-27 Uncertainty budget for sample No.10 of STD No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000350 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	1.7	2.4 %
Q _S	6.79450×10^6 count	1400 count	250×10^{-9}	64.2 %
Q _b	6663 μC	800 μC	-250×10^{-9}	21.0 %
f _{Pu}	0.9991200	90.0×10^{-6}	-1.7	12.2 %
s	9.800300 g	100×10^{-6} g	-0.18	0.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	7.2×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.717744 mg/g	442×10^{-6} mg/g		

Table A-28 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	5.53421×10^6 count	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5510 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9991300	90.0×10^{-6}	-5.0	11.3 %
s	2.751200 g	100×10^{-6} g	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98398 mg/g	1.33×10^{-3} mg/g		

Table A-29 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	5.54462×10^6 count	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5726 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.756100 g	100×10^{-6} g	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98445 mg/g	1.33×10^{-3} mg/g		

Table A-30 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	5.54271×10^6 count	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5655 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9990800	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.755600 g	100×10^{-6} g	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98379 mg/g	1.33×10^{-3} mg/g		

Table A-31 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$5.55258 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	900×10^{-9}	55.2 %
Q _b	5745 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9990000	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.760000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98504 mg/g	$1.33 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-32 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.54343 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5614 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9990700	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.755900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98397 mg/g	$1.33 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-33 Uncertainty budget for sample No.6 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.51265 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	910×10^{-9}	55.4 %
Q _b	5761 μC	800 μC	-910×10^{-9}	29.3 %
f _{Pu}	0.9990400	90.0×10^{-6}	-5.0	11.3 %
s	2.740100 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98487 mg/g	$1.34 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-34 Uncertainty budget for sample No.7 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.3 %
Q _S	$5.55270 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	900×10^{-9}	55.2 %
Q _b	5591 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.761200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98268 mg/g	$1.33 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-35 Uncertainty budget for sample No.8 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000820 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.54637 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5441 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9991400	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.758100 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98254 mg/g	$1.33 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-36 Uncertainty budget for sample No.9 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997980 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.45090 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	910×10^{-9}	55.5 %
Q _b	5268 μC	800 μC	-920×10^{-9}	29.4 %
f _{Pu}	0.9990500	90.0×10^{-6}	-5.0	11.0 %
s	2.710200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.9 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98242 mg/g	$1.35 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-37 Uncertainty budget for sample No.10 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997980 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.54052 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	900×10^{-9}	55.3 %
Q _b	5680 μC	800 μC	-900×10^{-9}	29.2 %
f _{Pu}	0.9989700	90.0×10^{-6}	-5.0	11.4 %
s	2.754000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98391 mg/g	$1.33 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-38 Uncertainty budget for sample No.11 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998810 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.45408 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	910×10^{-9}	55.5 %
Q _b	5867 μC	800 μC	-910×10^{-9}	29.4 %
f _{Pu}	0.9992600	90.0×10^{-6}	-5.0	11.0 %
s	2.711200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.9 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98232 mg/g	$1.35 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-39 Uncertainty budget for sample No.12 of STD No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998800 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	5.0	2.2 %
Q _S	$5.50788 \times 10^6 \text{ count}$	1100 count	910×10^{-9}	55.4 %
Q _b	5953 μC	800 μC	-910×10^{-9}	29.3 %
f _{Pu}	0.9992500	90.0×10^{-6}	-5.0	11.2 %
s	2.737200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.8	1.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.021	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-52×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.98369 mg/g	$1.34 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-40 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000740 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	$4.29668 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.1×10^{-6}	48.6 %
Q _b	4902 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.4 %
f _{Pu}	0.9989600	90.0×10^{-6}	-4.7	9.0 %
s	2.257900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71504 mg/g	$1.42 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-41 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000090 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	$4.29718 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.1×10^{-6}	48.6 %
Q _b	8288 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.4 %
f _{Pu}	0.9993700	90.0×10^{-6}	-4.7	9.0 %
s	2.254500 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71673 mg/g	$1.42 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-42 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	$4.28821 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.1×10^{-6}	48.7 %
Q _b	5413 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.4 %
f _{Pu}	0.9991200	90.0×10^{-6}	-4.7	8.9 %
s	2.252000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71624 mg/g	$1.42 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-43 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000090 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	4.28393×10^6 count	900 count	1.1×10^{-6}	48.7 %
Q _b	8295 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.5 %
f _{Pu}	0.9992400	90.0×10^{-6}	-4.7	8.9 %
s	2.247300 g	100×10^{-6} g	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71783 mg/g	1.42×10^{-3} mg/g		

Table A-44 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000180 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.7 %
Q _S	3.72302×10^6 count	700 count	1.3×10^{-6}	37.7 %
Q _b	7649 μC	800 μC	-1.3×10^{-6}	49.2 %
f _{Pu}	0.9992300	90.0×10^{-6}	-4.7	8.6 %
s	1.954000 g	100×10^{-6} g	-2.4	2.8 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71507 mg/g	1.45×10^{-3} mg/g		

Table A-45 Uncertainty budget for sample No.6 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999590 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	4.28390×10^6 count	900 count	1.1×10^{-6}	48.7 %
Q _b	5327 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.4 %
f _{Pu}	0.9988500	90.0×10^{-6}	-4.7	8.9 %
s	2.251400 g	100×10^{-6} g	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71408 mg/g	1.42×10^{-3} mg/g		

Table A-46 Uncertainty budget for sample No.7 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999110 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	4.26763×10^6 count	900 count	1.1×10^{-6}	48.7 %
Q _b	10547 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.5 %
f _{Pu}	0.9993000	90.0×10^{-6}	-4.7	8.8 %
s	2.237600 g	100×10^{-6} g	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71698 mg/g	1.43×10^{-3} mg/g		

Table A-47 Uncertainty budget for sample No.8 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000500 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	6.40243×10^6 count	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5566 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9991100	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.364900 g	100×10^{-6} g	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71490 mg/g	1.23×10^{-3} mg/g		

Table A-48 Uncertainty budget for sample No.9 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0002840 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	6.41885×10^6 count	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5654 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9989500	90.0×10^{-6}	-4.7	12.1 %
s	3.371800 g	100×10^{-6} g	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	1.20×10^{-3} g/mol	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71913 mg/g	1.22×10^{-3} mg/g		

Table A-49 Uncertainty budget for sample No.10 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999200 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.41856 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	7790 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9985500	90.0×10^{-6}	-4.7	12.1 %
s	3.370400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71947 mg/g	$1.22 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-50 Uncertainty budget for sample No.11 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998820 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.40700 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5906 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9992800	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.366400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71432 mg/g	$1.22 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-51 Uncertainty budget for sample No.12 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999590 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.40260 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5858 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9984100	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.364800 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71783 mg/g	$1.23 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-52 Uncertainty budget for sample No.13 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000550 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.41757 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5697 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9992100	90.0×10^{-6}	-4.7	12.1 %
s	3.372000 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71556 mg/g	$1.22 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-53 Uncertainty budget for sample No.14 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999100 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.42243 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	730×10^{-9}	61.1 %
Q _b	7493 μC	800 μC	-730×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9991400	90.0×10^{-6}	-4.7	12.1 %
s	3.375300 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71285 mg/g	$1.22 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-54 Uncertainty budget for sample No.15 of STD No.4.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998850 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.38949 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.2 %
Q _b	5411 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9993500	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.353900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.71899 mg/g	$1.23 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-55 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.5.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999590 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.38971 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.2 %
Q _b	7454 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9989900	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.350400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.72463 mg/g	$1.23 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-56 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.5.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000810 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.40483 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	5753 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.1 %
f _{Pu}	0.9992200	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.358900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.72458 mg/g	$1.23 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-57 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.5.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999200 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	2.4 %
Q _S	$6.39719 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	740×10^{-9}	61.1 %
Q _b	6706 μC	800 μC	-740×10^{-9}	23.2 %
f _{Pu}	0.9983600	90.0×10^{-6}	-4.7	12.0 %
s	3.355200 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-1.4	1.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.72675 mg/g	$1.23 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-58 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.5.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9999600 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.7 %
Q _S	$4.26339 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.1×10^{-6}	48.7 %
Q _b	5640 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.5 %
f _{Pu}	0.9984100	90.0×10^{-6}	-4.7	8.9 %
s	2.237300 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.72279 mg/g	$1.43 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-59 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.5.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	4.7	1.8 %
Q _S	$4.28778 \times 10^6 \text{ count}$	900 count	1.1×10^{-6}	48.6 %
Q _b	4606 μC	800 μC	-1.1×10^{-6}	38.4 %
f _{Pu}	0.9990300	90.0×10^{-6}	-4.7	8.9 %
s	2.248500 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-2.1	2.2 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.020	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-49×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	4.72496 mg/g	$1.42 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-60 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.6.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \cdot 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	9.0	1.7 %
Q _S	$4.11818 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	2.2×10^{-6}	40.6 %
Q _b	5740 μC	800 μC	-2.2×10^{-6}	40.6 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-9.0	8.7 %
s	1.140400 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.8	8.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.037	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-93×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	8.94231 mg/g	$2.73 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-61 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.6.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	9.0	1.7 %
Q _S	$4.09209 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	2.2×10^{-6}	40.7 %
Q _b	6822 μC	800 μC	-2.2×10^{-6}	40.7 %
f _{Pu}	0.9990400	90.0×10^{-6}	-9.0	8.6 %
s	1.132500 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.9	8.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.037	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-93×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	8.94573 mg/g	$2.75 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-62 Uncertainty budget for sample No.3 of STD No.6.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	9.0	1.7 %
Q _S	$4.07898 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	2.2×10^{-6}	40.7 %
Q _b	7916 μC	800 μC	-2.2×10^{-6}	40.7 %
f _{Pu}	0.9989900	90.0×10^{-6}	-9.0	8.6 %
s	1.128900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.9	8.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.037	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-93×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	8.94350 mg/g	$2.75 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-63 Uncertainty budget for sample No.4 of STD No.6.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998830 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	8.9	1.7 %
Q _S	$4.10581 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	2.2×10^{-6}	40.7 %
Q _b	5002 μC	800 μC	-2.2×10^{-6}	40.7 %
f _{Pu}	0.9992000	90.0×10^{-6}	-8.9	8.7 %
s	1.137900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.9	8.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.037	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-93×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	8.93575 mg/g	$2.73 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-64 Uncertainty budget for sample No.5 of STD No.6.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998830 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	9.0	1.7 %
Q _S	$4.09392 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	2.2×10^{-6}	40.7 %
Q _b	7081 μC	800 μC	-2.2×10^{-6}	40.7 %
f _{Pu}	0.9990700	90.0×10^{-6}	-8.9	8.6 %
s	1.133700 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.9	8.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.037	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-93×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	8.93946 mg/g	$2.74 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-65 Uncertainty budget for sample No.1 of STD No.7.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	1.9 %
Q _S	$4.14763 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	410×10^{-9}	44.1 %
Q _b	8931 μC	800 μC	-410×10^{-9}	44.1 %
f _{Pu}	0.9991200	90.0×10^{-6}	-1.7	9.6 %
s	6.045300 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.28	0.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.1×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.697638 mg/g	$494 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-66 Uncertainty budget for sample No.2 of STD No.7.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	1.7	1.9 %
Q _S	$4.14413 \times 10^6 \text{ count}$	800 count	410×10^{-9}	44.1 %
Q _b	5683 μC	800 μC	-410×10^{-9}	44.1 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-1.7	9.6 %
s	6.041900 g	$100 \times 10^{-6} \text{ g}$	-0.28	0.3 %
A _{rPu}	239.07290 g/mol	$1.20 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	7.1×10^{-3}	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-18×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	1.698438 mg/g	$494 \times 10^{-6} \text{ mg/g}$		

Table A-67 Uncertainty budget for sample No.1 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996640 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.31358 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.2 %
Q _b	6499 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.8 %
f _{Pu}	0.9988900	90.0×10^{-6}	-16	7.5 %
s	1.002300 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.3 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5040	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	110×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.60241 mg/g	$5.14 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-68 Uncertainty budget for sample No.2 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000120 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28718 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.3 %
Q _b	8906 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.9 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.998000 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.4 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.7×10^{-3}	0.2 %
f _{Fe}	0.3960	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	84×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.60149 mg/g	$5.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-69 Uncertainty budget for sample No.3 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000120 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28387 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.3 %
Q _b	8134 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.9 %
f _{Pu}	0.9990000	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.998100 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.4 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.6×10^{-3}	0.2 %
f _{Fe}	0.3700	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	79×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.59550 mg/g	$5.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-70 Uncertainty budget for sample No.4 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000120 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28758 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.3 %
Q _b	7748 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.9 %
f _{Pu}	0.9989900	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.998500 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.4 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.6×10^{-3}	0.2 %
f _{Fe}	0.3710	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	79×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.59957 mg/g	$5.15 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-71 Uncertainty budget for sample No.5 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000070 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28476 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.2 %
Q _b	7904 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.9 %
f _{Pu}	0.9991500	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.997800 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.4 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.9×10^{-3}	0.3 %
f _{Fe}	0.4320	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	92×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.59980 mg/g	$5.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-72 Uncertainty budget for sample No.6 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000080 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28124 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.3 %
Q _b	10373 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.9 %
f _{Pu}	0.9990100	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.997000 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.4 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.6×10^{-3}	0.2 %
f _{Fe}	0.3660	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	78×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.60042 mg/g	$5.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-73 Uncertainty budget for sample No.7 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28361 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.1 %
Q _b	7120 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.8 %
f _{Pu}	0.9990000	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.997400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.3 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.6×10^{-3}	0.5 %
f _{Fe}	0.6170	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.60019 mg/g	$5.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-74 Uncertainty budget for sample No.8 of Pu nitrate solution No.1.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9996640 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	16	1.5 %
Q _S	$6.28945 \times 10^6 \text{ count}$	1300 count	2.5×10^{-6}	39.2 %
Q _b	7023 μC	800 μC	-2.5×10^{-6}	14.8 %
f _{Pu}	0.9990400	90.0×10^{-6}	-16	7.4 %
s	0.998600 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-16	35.3 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.065	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-160×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	2.764 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.142 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.4×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5520	0.0500	-0.012	1.3 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	120×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	15.59608 mg/g	$5.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-75 Uncertainty budget for sample No.1 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	4.79011×10^6 count	1000 count	2.1×10^{-6}	38.2 %
Q _b	5843 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990100	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.180700 g	196×10^{-6} g	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	1.15×10^{-3} g/mol	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.1 %
f _{Fe}	0.5030	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	1.15×10^{-3} g/mol	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04665 mg/g	3.40×10^{-3} mg/g		

Table A-76 Uncertainty budget for sample No.2 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	40.0×10^{-6} $\mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	4.79342×10^6 count	1000 count	2.1×10^{-6}	38.0 %
Q _b	5923 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.3 %
f _{Pu}	0.9991100	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.181500 g	196×10^{-6} g	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	1.15×10^{-3} g/mol	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	2.40×10^{-3} C/mol	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.3×10^{-3}	2.4 %
f _{Fe}	0.5450	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	1.15×10^{-3} g/mol	140×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04503 mg/g	3.41×10^{-3} mg/g		

Table A-77 Uncertainty budget for sample No.3 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000650 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.79928 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	5965 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.182900 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.3×10^{-3}	2.3 %
f _{Fe}	0.5260	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04570 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-78 Uncertainty budget for sample No.4 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.79494 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	6858 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990800	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.181900 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.3×10^{-3}	2.3 %
f _{Fe}	0.5330	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04333 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-79 Uncertainty budget for sample No.5 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000650 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.78507 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	5634 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990700	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.179600 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g/g}$	0.227 $\mu\text{g/g}$	-2.2×10^{-3}	2.2 %
f _{Fe}	0.5150	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04509 mg/g	$3.41 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-80 Uncertainty budget for sample No.6 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000650 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.78866 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.0 %
Q _b	5731 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.3 %
f _{Pu}	0.9991000	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.180800 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g/g}$	0.227 $\mu\text{g/g}$	-2.3×10^{-3}	2.4 %
f _{Fe}	0.5410	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	140×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04154 mg/g	$3.41 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-81 Uncertainty budget for sample No.7 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.79736 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	5908 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990500	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.182600 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.2 %
f _{Fe}	0.5230	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04490 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-82 Uncertainty budget for sample No.8 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.78750 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	6113 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990400	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.180700 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.2 %
f _{Fe}	0.5130	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04016 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-83 Uncertainty budget for sample No.9 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000660 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.79606 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	5979 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990700	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.182300 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.3×10^{-3}	2.3 %
f _{Fe}	0.5250	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04434 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-84 Uncertainty budget for sample No.10 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.79325 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.1 %
Q _b	5891 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990200	90.0×10^{-6}	-10	7.1 %
s	1.181300 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.5	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.2 %
f _{Fe}	0.5140	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04775 mg/g	$3.40 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-85 Uncertainty budget for sample No.11 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.76689 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.2 %
Q _b	6191 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990600	90.0×10^{-6}	-10	7.0 %
s	1.175000 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.6	24.1 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.1 %
f _{Fe}	0.5140	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04497 mg/g	$3.42 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{g}$		

Table A-86 Uncertainty budget for sample No.12 of Pu nitrate solution No.2.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	1.0000630 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.4 %
Q _S	$4.75097 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.1×10^{-6}	38.2 %
Q _b	5911 μC	800 μC	-2.1×10^{-6}	24.4 %
f _{Pu}	0.9990500	90.0×10^{-6}	-10	7.0 %
s	1.171000 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.6	24.2 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	3.267 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.227 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	2.1 %
f _{Fe}	0.5150	0.0400	-0.014	2.7 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	130×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.04625 mg/g	$3.43 \times 10^{-3} \text{ mg}/\text{g}$		

Table A-87 Uncertainty budget for sample No.1 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997980 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06320 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	6571 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9990900	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.250400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.2×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5190	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	66×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02652 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-88 Uncertainty budget for sample No.2 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997970 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.11722 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	6515 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9990500	90.0×10^{-6}	-10	8.3 %
s	1.265600 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-7.9	24.6 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.1×10^{-3}	0.3 %
f _{Fe}	0.4910	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	63×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.01263 mg/g	$3.13 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-89 Uncertainty budget for sample No.3 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997980 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06474 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.3 %
Q _b	5981 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9989600	90.0×10^{-6}	-10	8.2 %
s	1.251300 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-1.9×10^{-3}	0.3 %
f _{Fe}	0.4460	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	57×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02536 mg/g	$3.16 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-90 Uncertainty budget for sample No.4 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9997970 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06176 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.3 %
Q _b	5306 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9990200	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.250400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.0×10^{-3}	0.3 %
f _{Fe}	0.4690	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	60×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02723 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-91 Uncertainty budget for sample No.5 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998810 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06532 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	8184 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9993300	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.251400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.6 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.8×10^{-3}	0.6 %
f _{Fe}	0.6480	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	83×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.01703 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-92 Uncertainty budget for sample No.6 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998800 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06351 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	9411 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9992600	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.249600 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.5×10^{-3}	0.5 %
f _{Fe}	0.5930	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	76×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02652 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-93 Uncertainty budget for sample No.7 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998810 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06542 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	5756 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9992700	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.251100 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.5×10^{-3}	0.5 %
f _{Fe}	0.5890	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	75×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02546 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-94 Uncertainty budget for sample No.8 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998800 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06210 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	6550 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9991800	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.250300 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.3×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5400	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	69×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02497 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-95 Uncertainty budget for sample No.9 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998810 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.04525 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	6216 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9992500	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.246900 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.4×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5710	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	73×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.01854 mg/g	$3.18 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-96 Uncertainty budget for sample No.10 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.06437 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	7651 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9992500	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.250400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g}/\text{g}$	0.0866 $\mu\text{g}/\text{g}$	-2.5×10^{-3}	0.5 %
f _{Fe}	0.5770	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	74×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02550 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

Table A-97 Uncertainty budget for sample No.11 of Pu nitrate solution No.3.

Variable	Value	Standard Uncertainty	Sensitivity Coefficient	Index
C	0.9998790 $\mu\text{C}/\text{count}$	$40.0 \times 10^{-6} \mu\text{C}/\text{count}$	10	1.6 %
Q _S	$5.05594 \times 10^6 \text{ count}$	1000 count	2.0×10^{-6}	39.2 %
Q _b	5947 μC	800 μC	-2.0×10^{-6}	25.1 %
f _{Pu}	0.9992500	90.0×10^{-6}	-10	8.1 %
s	1.248400 g	$196 \times 10^{-6} \text{ g}$	-8.0	24.7 %
A _{rPu}	239.14000 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	0.042	0.0 %
F	96485.33990 C/mol	$2.40 \times 10^{-3} \text{ C/mol}$	-100×10^{-6}	0.0 %
C _{Fe}	1.6600 $\mu\text{g/g}$	0.0866 $\mu\text{g/g}$	-2.4×10^{-3}	0.4 %
f _{Fe}	0.5680	0.0400	-7.1×10^{-3}	0.8 %
A _{rFe}	55.84500 g/mol	$1.15 \times 10^{-3} \text{ g/mol}$	72×10^{-6}	0.0 %
C _{Pu}	10.02826 mg/g	$3.17 \times 10^{-3} \text{ mg/g}$		

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

表1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	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량	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

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
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ートル	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	アンペア毎平方メートル	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	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	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) これらは無次元量あるいは次元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

組立量	SI 組立単位			
	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
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(e)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	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	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	C		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	S	A/V	m ² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	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
光路長	ルーメン	lm	cd sr ^(e)	cd
放射線量	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, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	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、ベクレルは放射性核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。セルシウス度とケルビンの単位の間には1:1の関係がある。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (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

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	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
	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	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

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=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=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
バール	bar	1 bar=0.1MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm ² =(10 ¹² cm ²) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	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	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe _e =(10 ³ /4π)A m ⁻¹

(a) 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

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロ	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

