

ゲルマニウム半導体検出器に係る 緊急時モニタリング用核種ライブラリの作成

【原子力環境センター】

居蔵岳志*1

1 はじめに

放射能測定法シリーズ No. 29 「緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法（原子力規制庁監視情報課）（以下「測定法 No. 29」という。）⁽¹⁾ が平成 30 年 3 月に改訂され、福島第一原子力発電所の事故を踏まえた γ 線スペクトル解析のための緊急時用核データライブラリの作成の必要性が示されたところである。

一方で、鳥取県原子力環境センターでは平常時の使用を想定した汎用の核データライブラリを従来から使用し、緊急時用核データライブラリの整備が遅れていた。

この度、緊急時用核データライブラリの整備を行ったので、その内容について詳細を報告する。

2 核データ集テーブルの作成

2.1 核データ集テーブルの概要

測定法 No. 29 では、まず信頼できる核データ集を入手し、対象核種の選定及び所定のフォーマットに従いテーブルデータ化することとされている。

実際に、測定法 No. 29 の付表 2.1 には National Nuclear Data Center（以下「NNDC」という。）が管理する ENSDF*2（2017 年 10 月時点）から、緊急時核データライブラリの作成に必要とされる 148 核種を選定し、さらにその中から γ 線エネルギーが 2,000keV 以下かつ放出率が 0.01%以上の核データ（核種中の最大の放出率が 0.01%より小さい ^{206}Tl 及び ^{206}Po を除く。）を抽出した結果（4,413 ピーク）が掲載されている。

2.2 核データ集テーブルのデータ元

現在、ENSDF のデータセットは毎月更新されており、測定法 No. 29 がデータ元としている 2017 年 10 月時点とは核データが大きく変わっていることが考えられたため、2025 年 3 月の ENSDF のデータセットを元に核データ集テーブルを作成することとした。

2.3 ENSDF データセットから核データ集テーブルの作成方法

以下に、ENSDF のデータセットから核デー

タ集テーブルを作成する方法を示す。

2.3.1 ENSDF データセットのダウンロード

ENSDF のアーカイブ⁽²⁾から最新の ENSDF のデータセットをダウンロードする。

本報告では 2025 年 3 月の ENSDF のデータセットとして「ensdf_250301.zip」をダウンロードして核データとして用いた。

当該 zip ファイルを展開すると、ensdf.001～ensdf.300 のファイル（以下「ENSDF データファイル」という。）が格納されている。これらは ENSDF の独自フォーマットで作成されたテキストファイルであり、ensdf.xxx の xxx 部分は壊変後の子孫核種の質量数に相当する。

なお、ENSDF のフォーマットの解説書⁽³⁾が NNDC のホームページで公開されている。

2.3.2 ENSDF データセットからの核データの抽出

前述のとおり、ENSDF のデータファイルは子孫核種の質量数ごとにまとめられている。

しかし、 γ 線スペクトル解析で使用するのは親核種の壊変データであり、ENSDF データファイルから親核種の壊変データを抽出し、各 γ 線ピークの放出率の計算を行う必要があるため、その方法の例を以下に示す。

2.3.2.1 「RADLIST」による抽出

測定法 No. 29 付録 1.2(1)3)では、ENSDF データファイルから核データを抽出する方法として ENSDF 用の配布プログラムである「RADLIST」の使用を紹介しているが、2025 年 3 月現在ではプログラムとして配布はされておらず、代わりに Web 上で動作するプログラム⁽⁴⁾（以下「Web プログラム」という。）として提供がされている（図 1）。



図 1 Web プログラム版 RADLIST

*1 現 鳥取県西部総合事務所環境建築局環境・循環推進課

*2 ブロックヘブレン米国立研究所の核データセンター (National Nuclear Data Center) が管理する評価済核構造ファイル (Evaluated Nuclear Structure Data File)

当該 Web プログラムに、ENSDF データファイルから抽出した所定の壊変データを入力すれば、入力した親核種が崩壊により放出する γ 線エネルギーとその絶対強度（放出率）が整理された表が入手できる。

しかし、この方法では ENSDF データファイルから必要な親核種の壊変データを抽出する作業が煩雑であり、100 以上の親核種の核データ集テーブルを作成する場合には多大な労力を要する。

2.3.2.2 「Live Chart of Nuclides」による抽出

IAEA の Web サイトでは、「Live Chart of Nuclides」⁽⁵⁾ を提供しており、親核種の情報から核データの入手が可能である（図 2）。また当該 Web サイトでは WebAPI による親核種の壊変データを CSV 形式でダウンロードする機能も提供しており、指定の親核種の核データを入手するのに便利である。

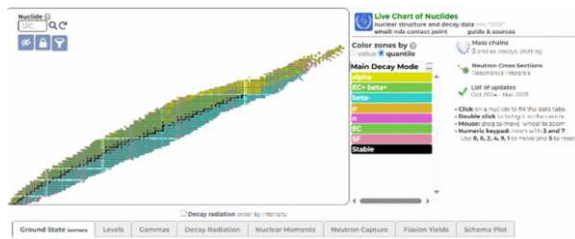


図 2 Web ページ「Live Chart of Nuclides」

しかし、核データの入手は親核種単位となるため、核データ集を作成する場合は入手データの統合作業が必要となる。

また 2025 年 3 月時点で確認したところ、当該 Web サイトの WebAPI の ENSDF のデータは 2022 年 4 月時点のものを参照しているとのことであり、最新データでないことに注意が必要である。

2.3.2.3 自作プログラムによる抽出

前述のいずれの方法でも多数の親核種の壊変データが必要な核データ集テーブルを作成しようとした場合、煩雑な操作やデータ整理が必要となる。

そこで、筆者は ENSDF のデータセットから任意の親核種の壊変データを一括して収集するプログラムを作成した。プログラムの作成は、Microsoft Excel（以下「Excel」という。）に付属する Visual Basic For Application（以下「VBA」という。）により行った。

この自作 VBA プログラムにより、容易に最新の ENSDF データセットから核データ集テーブルの作成が可能となった。

本報告では、自作 VBA プログラムにより、緊急時核データライブラリの作成に必要とされる 148 核種の核データを抽出し、核データ集テーブルの作成を行った。

2.4 核データ集テーブルの保存

核データ集テーブルは、Excel ファイル形式（拡張子.xlsx）として保存した。Excel ファイル形式で保存することにより、 γ 線スペクトル解析において検出ピークの γ 線エネルギーによる検索や統計処理等が容易になり、CSV 形式に変換して他のプログラム等で活用することが可能になった。

3 核データ集テーブルの新旧比較

測定法 No. 29 付表 2.1 に掲載された核データ集テーブル（以下「旧テーブル」という。）と、2025 年 3 月時点の ENSDF データセットから作成した核データ集テーブル（以下「新テーブル」という。）の比較を行った。

3.1 旧テーブルの概要

旧テーブルのデータ数は 148 核種の 4,413 ピークである。なお、旧テーブルのデータは、 γ 線エネルギーが 2,000keV 以下かつ放出率が 0.01%以上のピーク（ ^{206}Tl 及び ^{210}Po のピークを除く）に限定されている。

3.2 新テーブルの概要

新テーブルのデータ数は 148 核種の 6,763 ピークである。なお、新テーブルからは γ 線放出が実際に観測されていない核データ（ENSDF データセットで放出率が設定されていないもの）及び半減期の単位が ms（ミリ秒）の核データ（ $^{114\text{m}}\text{In}$ 及び $^{131\text{m}}\text{Te}$ の内部転換によるもの）を除いている。

3.3 比較のための新テーブルの整理

旧テーブルと新テーブルの比較を行うに当たり、旧テーブルと条件に合わせるため、新テーブルの抽出を行った。

3.3.1 新テーブルの γ 線エネルギーによる抽出

新テーブルから γ 線エネルギーが 2,000keV 以下のピークのみを抽出した結果、148 核種の 6,176 ピークとなった。

3.3.2 新テーブルの放出率による抽出

3.3.1 で抽出したデータから、さらに放出率が 0.01%以上のピーク（ ^{206}Tl 及び ^{210}Po のピークを除く）のみを抽出した結果、148 核種の 4,426 ピークとなった（以下、この抽出で得られたデータテーブルを「比較用新テーブル」という。）。

3.4 旧テーブルと比較用新テーブルの比較

3.4.1 比較用新テーブルだけに存在するピーク

比較用新テーブルのピークのうち、 γ 線エネルギーの $\pm 1\text{keV}$ の範囲内に旧テーブルの同一核種のピークが存在しないものを比較用新テーブルだけに存在するピークとし、検索を行った。

その結果、17核種の57ピークが比較用新テーブルにのみ存在するピークだった(表1)。

いずれも放出率が低いピークだったが、旧テーブルを基に緊急時核データライブラリを作成している場合は、 γ 線スペクトル解析において不明ピークとして出現する可能性がある。

3.4.2 旧テーブルだけに存在するピーク

3.4.1と同様に旧テーブルのみ存在するピークを検索を行った。

その結果、10核種の43ピークが旧テーブルにのみ存在するピークだった(表2)。いずれも放出率が低いピークだったが、旧テーブルを基に緊急時核データライブラリを作成している場合は、これらのピーク情報が γ 線スペクトル解析において誤同定等の原因となる可能性がある。

3.4.3 旧テーブルと比較して放出率が2倍以上増加した比較用新テーブルのピーク

旧テーブルと比較用新テーブルで同一のピークであるもののうち、新テーブルの放出率が旧テーブルの放出率の2倍以上となっているピークを検索を行った。

その結果、14核種の31ピークについて放出率が2倍以上になっていた(表3)。このうち、 ^{115}Cd (336.24keV)は、新テーブルでは核種内で最も放出率が高いピークとなるため、旧テーブルを基に緊急時核データライブラリを作成している場合は、緊急時核データライブラリの修正が必要である。

3.4.4 旧テーブルと比較して放出率が1/2以下に減少した比較用新テーブルのピーク

3.4.3と同様に、比較用新テーブルの放出率が旧テーブルの放出率の1/2以下となっているピークを検索を行った。

その結果、6核種の8ピークについて放出率が1/2以下になっていた(表4)。このうち、 ^{235}U (19.55keV)は、旧テーブルでは核種内で最も放出率が高いピークであるが、新テーブルでは放出率が1%未満のピークになっているため、旧テーブルを基に緊急時核データライブラリを作成している場合は、緊急時核データライブラリの修正が必要である。

3.5 新テーブルに登録する核データ

3.5.1 γ 線エネルギーが2,000keVより大きいピーク

一般的なゲルマニウム半導体検出器の測定範囲が50keV~2,000keV程度とされているため、旧テーブルでは γ 線エネルギーが2,000keVより大きいピークを除外している。

しかし、エスケープピークを考慮すると、 γ 線エネルギーが2,000keVより大きいピークも γ 線スペクトル解析には必要となるため、新テーブルには γ 線エネルギーが2,000keVより大きいピークも新テーブルに登録することとした。

なお、新テーブルで γ 線エネルギーが2,000keVより大きいピークは45核種の587ピークだった。このうち、放出率が10%以上のピークは8核種の10ピークだった(表5)。特に ^{24}Na (2754.008keV)や ^{208}Tl (2614.511keV)は放出率が99.5%以上のため、当該核種が試料中に存在する場合に γ 線スペクトル解析においてダブルエスケープピーク(γ 線エネルギーから1,022keVを減じた位置に生じるピーク)の出現が予想されるので注意が必要である。

3.5.2 放出率が0.01%より小さいピーク

旧テーブルでは、放出率が0.01%より小さいピーク(^{206}Po 及び ^{206}Tl のピークを除く。)は除外されている。しかし、試料中の核種濃度が極めて高い場合、放出率が0.01%より小さいピークであっても γ 線スペクトル解析において検出可能なピークとして出現する可能性があることから、新テーブルには放出率が0.01%より小さいピークも登録することとした。

3.6 核データ集テーブルの新旧比較のまとめ

旧テーブルと新テーブルの比較により、旧テーブルの核データの修正が必要なことが分かった。 γ 線スペクトル解析用の緊急時核データライブラリを作成済みの場合は、緊急時核データライブラリのデータ元を確認し、定期的に最新のENSDFデータセットとの核データの比較を行い、修正を行うことが推奨される。

4 緊急時用核データライブラリの作成

2.4で保存した核データ集テーブルを元に、ゲルマニウム半導体検出器の γ 線スペクトル解析に使用するための核データライブラリを作成した。

なお、本項における作業については数千の核データに対するデータ処理が必要なことから、そのデータ処理の大半をVBAプログラムにより行った。

4.1 使用機器等

原子力環境センターの γ 線スペクトル解析セイゴインストルメント製のゲルマニウム半導体検出器と、その解析ソフトウェアであるGamma Stationsを使用している。

4.2 緊急時用マスター核データライブラリの登録

核データ集テーブルは、 γ 線スペクトル解析に必要な情報が不足しており、またExcelファイル形式やCSV形式では解析用ソフトウェアに取り込めないため、次の作業を行った。

4.2.1 核種属性の設定

核データ集テーブル中の各核種に対して、測定法 No. 29 の表 5.1 に示された(A) (平常時汎用核データ)、(B) (原発事故で検出された核種)、(C) (JCO 事故で検出された核種)、トリウム系列、ウラン系列などの天然核種、装置由来の核種などの属性を設定した。

4.2.2 特定核種の半減期等の設定

逐次壊変系列の天然核種の半減期を、壊変の開始核種となる親核種の半減期に設定した。

また測定法 No. 29 付録 2 注釈*2 のとおり、 ^{106}Ru については γ 線エネルギーや放出率は ^{106}Rh の核データを使用し、半減期は ^{106}Ru の核データを設定した。

4.2.3 測定範囲の γ 線エネルギーの抽出

核データ集の中から、当センターの γ 線半導体検出器の測定範囲 40keV \sim 2,000keV の γ 線エネルギーを持つピークを抽出した。

抽出したピークの数 は 147 核種の 6,088 ピークとなった。

4.2.4 エスケープピークの設定

γ 線エネルギーが 1,022keV 以上かつ核種中で最も高い放出率に対する放出率の比 (以下「比放出率」という。) が 0.3 以上のピークを抽出し、ピークの γ 線エネルギーから 511keV 減じたものをシングルエスケープピーク、1,022keV 減じたものをダブルエスケープピークとして整理し、 γ 線エネルギーが 40keV \sim 2,000keV の範囲のものをエスケープピークとして設定した。

当該エスケープピークの数 は 40 核種の 136 ピークとなった(表 6)。

4.2.5 サムピークの設定

測定法 No. 29 解説 B にサムピークを生じる核種の代表例として記載のある ^{134}Cs 及び ^{132}I 、測定法 No. 29 表 4.1 に記載の核種のうち、サムピークが検出される可能性がある ^{59}Fe 、 ^{133}Ba 及び ^{152}Eu について、測定法 No. 29 の解説 B. 2 ^{132}I

のサムピークの検討の例に習い、放出率が 3% 以上のピークの組合せによるサムピークの設定を行った。

当該サムピークの数 は 5 核種の 23 ピークとなった(表 7)。

なお、サムピークはこれら以外にも観測が予想される。今後は、核種ごとに生じる可能性のあるサムピークを条件抽出できる仕組みの構築が必要である。

4.2.6 ユーザーピークの設定

電子対消滅による 511keV のピーク並びに Pb 及び Bi の X 線のうち普段の測定でよく検出されるピークを設定した。

当該ユーザーピークの数 は 6 ピークとなった(表 7)。

4.2.7 緊急時用マスター核データライブラリの登録作業

4.2.3 から 4.2.6 までの作業で設定したピークを統合した 147 核種の 6,247 ピーク及びユーザーピーク 6 ピークを Gamma Station に核種ライブラリとして登録した (登録の方法は 4.4 で記述する。)。Gamma Station の制約上、1つの核種ライブラリに登録可能なピーク数は 4,096 ピークまでであるため、核種のピークは質量数 7 \sim 140 の核種のピーク (3,124 ピーク)、質量数 141 \sim 241 の核種のピーク (3,123 ピーク) 及びユーザーピーク (6 ピーク) の 3つの核種ライブラリに分けて登録した。

4.3 解析用核データライブラリの作成

4.2.7 の緊急時マスター核ライブラリから、原子力発電所の緊急時を想定した核種を抽出し、定量ピークの設定等を追加して解析用核データライブラリとした。

4.3.1 解析用核データライブラリ用核データの抽出

島根原子力発電所の緊急時を想定し、測定法 No. 29 の表 5.1 の(A)及び(B)の核種、表 D.3 に記載の核種 (ウラン及びトリウムの壊変生成物並びにバックグラウンドとして存在する核種) を解析用核データとして緊急時用マスター核データライブラリから抽出し、解析用核データ集テーブルを作成した。

4.3.2 比放出率による抽出

4.3.1 で抽出した解析用核データ集テーブルには放出率が極めて小さいピークが含まれており、 γ 線スペクトル解析の際に誤同定の原因になることから、放出 γ 線に係るピークについては、比放出率が 0.01 以上のピークのみを抽出した。

4.3.3 核種別の定量ピークの設定

4.3.2 で抽出したピークについて、核種別に比放射率が 0.3 以上のものを定量ピーク候補として抽出した。

次に定量ピーク候補の各ピークの γ 線エネルギーの $\pm 1\text{keV}$ の範囲内にエネルギーを持つ他のピーク（エスケープピーク、サムピーク、ユーザーピーク及び放射率が 1%以上の放射 γ 線ピークに限る。以下「重複ピーク」という。）を検索した。

その後、図 3 に示すフロー図のとおり定量ピーク候補の処理を行い、核種別に定量ピークを設定した。

このようにして定量ピークを設定した結果を表 9 に示す。

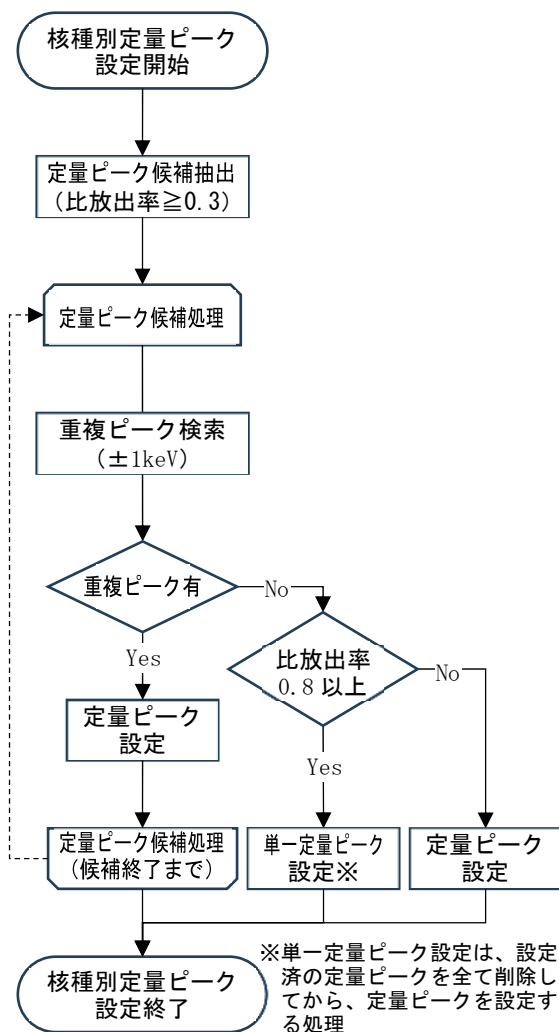


図 3 核種別定量ピーク設定フロー図

4.3.4 主要ピークの設定

GammaStation の仕様として、一番放射率が高いピークが妨害ピーク（定量ピークの設定がされていないピーク）の場合、ピーク属性を設定することとなっているので設定した。

4.3.5 過渡平衡核種の設定

測定法 No. 29 4.3.4(2)に記載の過渡平衡核種 (^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ - ^{129}Te 、 ^{132}Te - ^{132}I 、 ^{140}Ba - ^{140}La) について、GammaStation で減衰補正を行うために過渡平衡核種の子孫核種のピークに親核種の情報を設定した。

なお、測定法 No. 29 解説 C のとおり、過渡平衡核種の減衰補正をすべきではない事例があるため、当該設定を行ったピークの解析には注意を要する。

4.3.6 解析用核データライブラリの登録作業

4.3.1 から 4.3.5 までの作業で設定を行った解析用核データライブラリについて、GammaStation に核種ライブラリとして登録した（登録の方法は 4.4 で記述する）。当該登録データは 74 核種の 627 ピーク及びユーザーピーク 6 ピークの計 633 ピークとなった。

4.4 核種ライブラリ登録方法

数百から数千に及ぶ核データを核種ライブラリとして GammaStation に手作業で登録するのは困難なため、核データ集テーブルを GammaStation が取り込めるファイル形式に変換し、当該ファイルを GammaStation にインポートすることで核種ライブラリを登録した。

4.4.1 GammaStation 取込用ファイル仕様

Gamma Station には専用のファイル（拡張子 .liv。以下「liv ファイル」という。）を読み込み、 γ 線スペクトル解析用の核種ライブラリを登録する機能がある。

liv ファイルの中身はテキストファイルである。liv ファイルにはコンマで区切られたデータが格納されており、一見すると CSV ファイルのようだが、一行目に他の行とはデータ数の異なる核種情報が格納されていること、データは指定の書式及び指定のバイト数（文字数）でなければならないことなど、CSV ファイルとは形式が異なる。

なお、liv ファイルの形式に従っていないファイルを Gamma Station に読み込ませようとしても、エラーファイルとして処理され核種ライブラリには何も登録されない。

4.4.2 核データ集テーブルの変換プログラム

本報告において、liv ファイルの構造を解析し、核データ集テーブルを liv ファイルに変換するための VBA プログラムを作成した。

当該プログラムにより、登録ピーク数が数千に及ぶ場合であっても、GammaStation への核種ライブラリ登録が容易になった。

4.5 核種ライブラリの運用方法

緊急時には、4.3.6でGamma Stationに登録した解析用核データライブラリを用いて γ 線スペクトル解析を行う。

解析用核データライブラリの登録ピーク数が多いことが原因で、誤同定などの解析の妨げになる場合は、放出率を条件とした抽出により核種ライブラリの解析対象ピークの絞込みを行う。

放射能濃度が高い核種が含まれる試料の γ 線スペクトル解析で、比放出率が0.01より小さいピークが必要となった場合は、4.2.7で登録した緊急時用マスター核データライブラリから必要なピークの情報を抜き出して解析用核データライブラリに追加する。

上記のように編集した解析用核データライブラリを用いて、GammaStationで再解析を行う。

再解析の結果、核種の同定ができない不明ピークがある場合は、2.4で保存した核データ集テーブルで不明ピークの γ 線エネルギーを検索し、ピークの同定を行う。必要に応じて同定したピークを緊急時用マスター核データライブラリから抜き出して解析用核データライブラリに追加し、GammaStationで再解析を行う。

それでもなお、不明ピークがある場合は、ランダムサムピーク等の同定を行い、不明ピークが極力無くなるように解析を行い、解析結果の評価を行う。

5 まとめ

5.1 成果

- 本報告における成果は以下のとおりである。
- 最新のENSDFデータセットを基に、容易に核データ集テーブルや核データライブラリを作成できるようになった。
 - 測定法No.29付表2.1と最新のENSDFデータセットの内容を比較し、修正が必要な核データを明らかにした。
 - 複雑な処理を自作プログラムにより実現し、高度な条件による核データの抽出や定量ピーク設定の自動化など可能にした。

5.2 本報告における成果活用の可能性

γ 線スペクトル解析のための核データライブラリ作成が自動化されたことにより、スクリーニング用の核種ライブラリで一度解析した後、その結果をフィードバックして詳細解

析用の核データライブラリを自動作成して再解析することや、検出された未知ピークに対して自動で核種やサムピーク等の候補を挙げることが可能になると考えられる。

γ 線スペクトル解析は相当の専門的知識や経験が求められる一方、技術者の確保や教育訓練に課題がある現在において、解析の自動化や解析者を補助する機能の充実がますます重要になっていくことであろう。

6 参考文献

- (1)原子力規制庁：放射能測定法シリーズ29 緊急時におけるゲルマニウム半導体検出器による γ 線スペクトル解析法(平成30年3月)
- (2)NNDC(National Nuclear Data Center)：ENSDF Archives,
<https://www.nndc.bnl.gov/ensdfarchivals/>
- (3)Jagdish K. Tuli：Evaluated Nuclear Structure Data File, A Manual for Preparation of Data Sets (February, 2001)
<https://www.nndc.bnl.gov/ensdf/ensdf-manual.pdf>
- (4)NNDC(National Nuclear Data Center)：RADLIST,
<https://www.nndc.bnl.gov/radlist/>
- (5)IAEA(International Atomic Energy Agency)：Livechart of Nuclides,
<https://www-nds.iaea.org/relnsd/vcharthtml/VChartHTML.html>

表1 比較用新テーブルにのみ存在するピーク

核種名	半減期*1)	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%)
⁶³ Zn	38.49 M	685.5	0.021
⁶³ Zn	38.49 M	924.3	0.0106
⁶³ Zn	38.49 M	1087	0.026
⁶³ Zn	38.49 M	1169.6	0.012
⁶³ Zn	38.49 M	1189	0.018
⁷⁶ As	26.254 H	563	0.027
⁷⁷ Ge	11.211 H	1055.8	0.011
⁷⁷ Ge	11.211 H	1055.8	0.011
⁸² Br	35.282 H	182.84	0.0117
⁸² Br	35.282 H	271.96	0.0184
¹⁰⁵ Ru	4.439 H	572	0.01
¹⁰⁵ Ru	4.439 H	572.08	0.0215
¹³² I	2.295 H	1636.5	0.012
¹³² I	2.295 H	1636.5	0.012
¹³² I	2.295 H	1786.5	0.0109
¹³² I	2.295 H	1786.5	0.0109
¹³⁸ Cs	32.5 M	1477.9	0.023
¹³⁸ Cs	32.5 M	1572.9	0.031
¹³⁸ Cs	32.5 M	1981.3	0.14
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	512.7	0.013
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	512.7	0.013
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	758.65	0.0156
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	758.65	0.0156
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	771.91	0.049
¹⁴⁹ Nd	1.726 H	929.2	0.0104
¹⁵¹ Pm	28.4 H	125.2	0.0122
¹⁵³ Sm	46.284 H	609.5	0.0129
¹⁵³ Sm	46.284 H	609.5	0.0129
²⁰⁶ Tl	4.202 M	363.3	0.00013
²¹⁴ Bi	19.71 M	252.79	0.0123
²¹⁴ Bi	19.71 M	282	0.01
²¹⁴ Bi	19.71 M	428.07	0.0114
²¹⁴ Bi	19.71 M	439.36	0.0114
²¹⁴ Bi	19.71 M	486.6	0.022
²¹⁴ Bi	19.71 M	547.21	0.034
²¹⁴ Bi	19.71 M	630.81	0.0164
²¹⁴ Bi	19.71 M	631.2	0.0177
²¹⁴ Bi	19.71 M	1226.7	0.13
²¹⁴ Bi	19.71 M	1226.8	0.03
²¹⁴ Bi	19.71 M	1392.5	0.017
²¹⁴ Bi	19.71 M	1515.7	0.018
²¹⁹ Rn	3.96 S	370.9	0.0108
²²⁸ Ac	6.15 H	921.98	0.0147
²²⁸ Ac	6.15 H	921.98	0.0147
²²⁸ Ac	6.15 H	930.93	0.0124
²²⁸ Ac	6.15 H	930.93	0.0124
²³¹ Th	25.57 H	53.2	0.48
²³¹ Pa	32760 Y	102.6	0.01319
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	173	0.011
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	175.7	0.076
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	179.297	0.0126
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	199.6	0.1
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	294.3	0.033
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	345.4	0.072

表1 比較用新テーブルにのみ存在するピーク (続き)

核種名	半減期*1)	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%)
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	368.5	0.069
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	371.8	0.069
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	390.27	0.04

表2 旧テーブルにのみ存在するピーク

核種名	半減期*1)	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%)
⁷⁶ As	26.24 H	358.4	0.0135
⁷⁶ As	26.24 H	665.0	0.04
⁷⁶ As	26.24 H	863.8	0.0113
⁷⁶ As	26.24 H	1130.0	0.018
⁸² Br	35.282 H	179.80	0.017
⁸² Br	35.282 H	214.80	0.011
⁸² Br	35.282 H	280.30	0.024
⁸² Br	35.282 H	332.90	0.015
⁸² Br	35.282 H	599.5	0.017
⁸² Br	35.282 H	932.10	0.012
⁸² Br	35.282 H	1395.10	0.0117
¹⁰⁵ Ru	4.44 H	635.50	0.014
¹⁴⁷ Nd	10.98 D	117.98	0.0160
¹⁴⁷ Nd	10.98 D	240.5	0.043
²¹⁴ Pb	26.8 M	118.2	0.094
²¹⁴ Pb	26.8 M	298.8	0.026
²¹⁴ Bi	19.9 M	799.3	0.036
²¹⁴ Bi	19.9 M	989.34	0.010
²¹⁴ Bi	19.9 M	991.49	0.0110
²¹⁴ Bi	19.9 M	1109	0.015
²²³ Ra	11.43 D	33.6	0.10
²²³ Ra	11.43 D	63.2	0.056
²²³ Ra	11.43 D	136.10	0.028
²²³ Ra	11.43 D	219.0	0.014
²²³ Ra	11.43 D	293.80	0.0667
²²³ Ra	11.43 D	346.8	0.181
²²³ Ra	11.43 D	373.3	0.0500
²²³ Ra	11.43 D	376.0	0.012
²²³ Ra	11.43 D	376.10	0.013
²²³ Ra	11.43 D	382.8	0.014
²²³ Ra	11.43 D	387.70	0.015
²²³ Ra	11.43 D	393.5	0.011
²²³ Ra	11.43 D	439.3	0.082
²²³ Ra	11.43 D	481.6	0.021
²²³ Ra	11.43 D	487.50	0.0111
²²³ Ra	11.43 D	632.0	0.031
²³¹ Th	25.52 H	9.200	0.0330
²³¹ Th	25.52 H	10.25	0.0502
²³¹ Th	25.52 H	19.10	0.244
²³⁵ U	703.8×10 ⁶ Y	41.4	0.030
²³⁵ U	703.8×10 ⁶ Y	64.45	0.013
²³⁵ U	703.8×10 ⁶ Y	275.49	0.0320
²³⁹ Np	2.356 D	4.200	2.600

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

表 3 比較用新テーブルの放出率が旧テーブルの放出率の 2 倍以上となっているピーク

核種名	半減期*1)	旧テーブル		比較用新テーブル		B/A (-)
		γ線エネルギー (keV)	放出率 (%) [A]	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%) [B]	
⁷⁴ Ga	8.12 M	1134.5	0.19	1134.5	0.3856	2.03
⁷⁴ Ga	8.12 M	1134.5	0.19	1134.5	0.3856	2.03
⁷⁴ Ga	8.12 M	1337.18	0.8	1337.18	1.607	2.01
⁷⁴ Ga	8.12 M	1337.18	0.8	1337.18	1.607	2.01
⁷⁴ Ga	8.12 M	1357.90	0.16	1357.9	0.3213	2.01
⁷⁴ Ga	8.12 M	1443.38	1.8	1443.38	3.672	2.04
⁷⁴ Ga	8.12 M	1443.38	1.8	1443.38	3.690	2.05
⁹⁷ Zr	16.749 H	600.6	0.09	600.6	0.1862	2.07
¹⁰⁵ Ru	4.44 H	470.1	0.184	470.235	0.84	4.57
¹⁰⁵ Ru	4.44 H	577.0	0.019	577.019	0.1080	5.68
¹¹⁵ Cd	53.46 H	35.57	0.0153	35.57	0.421	27.52
¹¹⁵ Cd	53.46 H	336.24	1.000	336.241	46.02	46.02
^{117m} Cd	3.36 H	743.9	0.013	743.9	0.0262	2.02
^{117m} Cd	3.36 H	1120.0	0.13	1120.0	0.262	2.02
¹²⁵ Sn	9.64 D	258.25	0.010	258.25	0.020	2.00
¹²⁵ Sn	9.64 D	258.25	0.010	258.25	0.020	2.00
¹³¹ Sb	23.03 M	274.3	1.2	274.26	2.45	2.04
¹³¹ Sb	23.03 M	295.70	1.6	295.7	3.25	2.03
¹³¹ Sb	23.03 M	456.7	0.7	456.7	1.41	2.01
^{131m} Te	33.25 H	269.2	0.05	269.2	0.1046	2.09
^{131m} Te	33.25 H	269.2	0.05	269.2	0.1046	2.09
^{131m} Te	33.25 H	1148.89	0.24	1148.89	0.486	2.03
¹³³ I	20.83 H	522.4	0.04	522.4	0.0870	2.18
²¹⁴ Bi	19.9 M	334.78	0.019	334.9	0.055	2.89
²¹⁹ Rn	3.96 S	438.2	0.015	438.2	0.0302	2.01
²²⁸ Ac	6.15 H	674.2	0.05	674.16	0.109	2.18
²³¹ Th	25.52 H	18.07	0.011	18.055	0.095	8.64
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	31.60	0.017	31.60	0.046	2.71
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	72.70	0.12	72.7	0.309	2.58
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	136.55	0.01200	136.55	0.0256	2.13
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	251.50	0.020	251.5	0.067	3.35

表 4 比較用新テーブルの放出率が旧テーブルの放出率の 1/2 以下となっているピーク

核種名	半減期*1)	旧テーブル		比較用新テーブル		B/A (-)
		γ線エネルギー (keV)	放出率 (%) [A]	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%) [B]	
⁷⁶ As	26.24 H	563.23	1.20	563	0.027	0.023
⁸² Br	35.282 H	1174.0	0.068	1173.43	0.013	0.197
¹⁰⁵ Ru	4.44 H	500.10	0.55	500.11	0.196	0.356
²¹⁴ Pb	26.8 M	141.3	0.058	141.3	0.027	0.466
²¹⁴ Pb	26.8 M	511.00	0.033	511	0.015	0.455
²¹⁴ Bi	19.9 M	1329.94	0.081	1329.94	0.012	0.146
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	19.55	63	19.55	0.583	0.009
²³⁵ U	7.04×10 ⁸ Y	275.35	0.051	275.13	0.023	0.451

*1) 半減期の単位は、Y は年、D は日、H は時間、M は分、S は秒を表している。

表 5 緊急時用マスター核データライブラリ中の γ 線エネルギー2,000keV以上かつ放出率10%以上のピーク

核種名	半減期*1)	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)
²⁴ Na	14.956 H	2754.008	99.867
⁵⁶ Co	77.236 D	2598.500	16.97
⁵⁶ Mn	2.5789 H	2113.092	14.2
⁷⁴ Ga	8.12 M	2353.61	44.7
⁸⁸ Kr	2.825 H	2195.84	13.2
⁸⁸ Kr	2.825 H	2392.11	34.6
¹³⁸ Cs	32.5 M	2218.00	15.2
¹⁴² La	91.1 M	2397.8	13.3
¹⁴² La	91.1 M	2542.7	10.0
²⁰⁸ Tl	3.053 M	2614.511	99.754

表 6 緊急時用マスター核データライブラリに登録したエスケープピーク

核種名	半減期*1)	エスケープピークを生じるピーク		シングルエスケープピークの	ダブルエスケープピークの
		γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)	γ 線エネルギー (keV)	γ 線エネルギー (keV)
²² Na	2.6018 Y	1274.54	99.940	763.54	252.54
²⁴ Na	14.956 H	1368.63	99.9940	857.63	346.63
²⁴ Na	14.956 H	2754.01	99.867	-	1732.01
⁴⁰ K	1.25 × 10 ⁹ Y	1460.82	10.66	949.82	438.82
⁴¹ Ar	109.61 M	1293.64	99.160	782.64	271.64
⁴⁶ Sc	83.79 D	1120.55	99.9870	609.55	98.55
⁵⁶ Co	77.236 D	1238.29	66.46	727.29	216.29
⁵⁹ Fe	44.490 D	1099.25	56.5	588.25	77.25
⁵⁹ Fe	44.490 D	1291.59	43.2	780.59	269.59
⁶⁰ Co	1925.28 D	1173.23	99.85	662.23	151.23
⁶⁰ Co	1925.28 D	1332.49	99.9826	821.49	310.49
⁶⁵ Ni	2.51719 H	1115.53	15.43	604.53	93.53
⁶⁵ Ni	2.51719 H	1481.84	23.59	970.84	459.84
⁶⁵ Zn	243.93 D	1115.54	50.04	604.54	93.54
⁷⁴ Ga	8.12 M	2353.61	44.7	1842.61	1331.61
⁸² Br	35.282 H	1044.01	27.6	533.01	-
⁸² Br	35.282 H	1317.49	26.9	806.49	295.49
⁸⁴ Br	31.76 M	1897.60	14.6	1386.60	875.60
⁸⁶ Rb	18.642 D	1077.00	8.64	566.00	55.00
⁸⁸ Kr	2.825 H	1529.77	10.9	1018.77	507.77
⁸⁸ Kr	2.825 H	2195.84	13.2	1684.84	1173.84
⁸⁸ Kr	2.825 H	2392.11	34.6	1881.11	1370.11
⁸⁸ Rb	17.773 M	1836.00	22.81	1325.00	814.00
⁸⁸ Y	106.627 D	1836.06	99.2	1325.06	814.06
⁹¹ Sr	9.65 H	1024.30	33.5	513.30	-
⁹¹ Y	58.51 D	1204.80	0.26	693.80	182.80
⁹² Sr	2.611 H	1383.93	90	872.93	361.93
⁹² Y	3.54 H	1405.40	4.8	894.40	383.40
¹¹⁷ Cd	2.49 H	1303.27	18.4	792.27	281.27
¹¹⁷ Cd	2.49 H	1576.62	11.2	1065.62	554.62

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

表6 緊急時用マスター核データライブラリに登録したエスケープピーク (続き)

核種名	半減期*1)		エスケープピークを生じるピーク		シングルエスケープピークの	ダブルエスケープピークの
			γ線エネルギー (keV) *2)	放出率 (%)	γ線エネルギー (keV) *2) *3)	γ線エネルギー (keV) *2) *3)
^{117m} Cd	3.36	H	1029.06	11.7	518.06	—
^{117m} Cd	3.36	H	1065.98	23.1	554.98	43.98
^{117m} Cd	3.36	H	1234.59	11.0	723.59	212.59
^{117m} Cd	3.36	H	1432.91	13.4	921.91	410.91
^{117m} Cd	3.36	H	1997.33	26.2	1486.33	975.33
^{117m} Cd	3.36	H	2322.75	7.86	1811.75	1300.75
¹²⁴ Sb	60.20	D	1690.97	47.57	1179.97	668.97
¹²⁵ Sn	9.64	D	1067.10	10	556.10	45.10
¹²⁵ Sn	9.64	D	1089.15	4.6	578.15	67.15
¹²⁹ Sb	4.366	H	1030.65	15.13	519.65	—
¹³⁵ I	6.58	H	1131.51	22.6	620.51	109.51
¹³⁵ I	6.58	H	1260.41	28.7	749.41	238.41
¹³⁵ I	6.58	H	1457.56	8.7	946.56	435.56
¹³⁵ I	6.58	H	1678.03	9.6	1167.03	656.03
¹³⁶ Cs	13.01	D	1048.07	80	537.07	—
¹³⁸ Cs	32.5	M	1435.77	76.3	924.77	413.77
¹⁴⁰ La	1.67858	D	1596.21	95.4	1085.21	574.21
¹⁴¹ La	3.92	H	1354.52	1.64	843.52	332.52
¹⁴⁴ Pr	17.28	M	2185.66	0.694	1674.66	1163.66
¹⁴⁵ Pr	5.984	H	1051.41	0.175	540.41	—
¹⁴⁵ Pr	5.984	H	1150.26	0.194	639.26	128.26
¹⁵² Eu	13.517	Y	1085.84	10.11	574.84	63.84
¹⁵² Eu	13.517	Y	1112.08	13.67	601.08	90.08
¹⁵² Eu	13.517	Y	1408.01	20.87	897.01	386.01
¹⁵⁴ Eu	8.601	Y	1274.43	34.8	763.43	252.43
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1065.14	4.9	554.14	43.14
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1079.16	4.6	568.16	57.16
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1153.67	6.8	642.67	131.67
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1154.08	4.7	643.08	132.08
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1230.71	8.0	719.71	208.71
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1242.42	6.6	731.42	220.42
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	1965.95	3.9	1454.95	943.95
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	2026.65	3.3	1515.65	1004.65
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	2097.70	3.8	1586.70	1075.70
¹⁵⁶ Eu	15.19	D	2186.71	3.5	1675.71	1164.71
¹⁸² Ta	114.74	D	1121.29	35.24	610.29	99.29
¹⁸² Ta	114.74	D	1189.04	16.49	678.04	167.04
¹⁸² Ta	114.74	D	1221.40	27.23	710.40	199.40
²⁰⁷ Bi	31.55	Y	1063.66	74.5	552.66	41.66
²⁰⁸ Tl	3.053	M	2614.51	99.754	—	1592.51
²¹⁴ Bi	19.71	M	1120.29	14.90	609.29	98.29
²¹⁴ Bi	19.71	M	1764.49	15.29	1253.49	742.49

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

*2) 便宜上、小数点以下2桁目又は1桁目がない場合でも小数点以下2桁で記載した。

*3) 「—」はエスケープピークが存在しないことを示している。

表7 緊急時用マスター核データライブラリに登録したサムピーク

核種名	半減期*1)		サムピークの γ線エネルギー (keV) *2)	サムピークを生じるγ線エネルギーの 組み合わせ (keV) *2)	
⁵⁹ Fe	44.490	D	1291.59	192.34	1099.25
¹³² I	2.295	H	1190.36	522.65	667.71
¹³² I	2.295	H	1337.51	667.71	669.80
¹³² I	2.295	H	1339.11	667.71	671.40
¹³² I	2.295	H	1394.91	667.71	727.20
¹³² I	2.295	H	1440.31	667.71	772.60
¹³² I	2.295	H	1479.71	667.71	812.00
¹³² I	2.295	H	1499.80	727.20	772.60
¹³² I	2.295	H	1622.26	667.71	954.55
¹³² I	2.295	H	1727.15	772.60	954.55
¹³² I	2.295	H	1803.71	667.71	1136.00
¹³³ Ba	10.551	Y	383.85	81.00	302.85
¹³³ Ba	10.551	Y	437.01	81.00	356.01
¹³⁴ Cs	52.5	M	1174.05	569.33	604.72
¹³⁴ Cs	52.5	M	1400.59	604.72	795.86
¹³⁴ Cs	52.5	M	1406.67	604.72	801.95
¹³⁴ Cs	52.5	M	1969.91	604.72	1365.19
¹³⁴ Cs	52.5	M	1969.92	801.95	1167.97
¹⁵⁴ Eu	13.517	Y	366.48	121.78	244.70
¹⁵⁴ Eu	13.517	Y	1085.84	121.78	964.06
¹⁵⁴ Eu	13.517	Y	1112.08	244.70	867.38
¹⁵⁴ Eu	13.517	Y	1233.86	121.78	1112.08
¹⁵⁴ Eu	13.517	Y	1529.79	121.78	1408.01

表8 緊急時用マスター核データライブラリに登録したユーザーピーク

ユーザー ピーク名	エネルギー (keV) *2)	内容
Ani i.	511.00	電子対消滅γ線
Bi (Ka1)	77.12	Bi-Kα1 X線
Bi (Kb1)	87.34	Bi-Kβ1 X線
Pb (Ka1)	72.80	Pb-Kα1 X線
Pb (Ka2)	74.97	Pb-Kα2 X線
Pb (Kb1)	84.94	Pb-Kβ1 X線

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

*2) 便宜上、小数点以下2桁目又は1桁目がない場合でも小数点以下2桁で記載した。

表9 解析用核データライブラリに設定した定量ピーク

核種名	半減期*1		定量ピーク 優先度	γ線エネルギー (keV)	放出率 (%)	重複ピーク*2
²² Na	2.6018	Y	1	477.6035	10.44	
⁴¹ Ar	109.61	M	1	1460.820	10.66	
⁵⁴ Mn	312.20	D	1	320.0824	9.910	¹⁴⁷ Nd(319.410keV, 1.967%)
⁵⁶ Co	77.236	D	1	834.848	99.9760	²²⁸ Ac(835.710keV, 1.61%)
⁵⁸ Co	70.86	D	1	810.7593	99.450	
⁵⁹ Fe	44.490	D	1	1099.245	56.5	
⁶⁰ Co	1925.28	D	1	1332.492	99.9826	⁷⁴ Ga(1331.61keV, DE) ⁷⁴ Ga(1332.1keV, 1.74%)
⁶⁰ Co	1925.28	D	2	1173.228	99.85	¹³² I(1172.9keV, 1.09%) ¹³⁴ Cs(1174.05keV, SUM)
⁶³ Zn	38.49	M	1	244.3	0.0054	¹⁵² Eu(244.6974keV, 7.55%)
⁶⁵ Zn	243.93	D	1	1115.539	50.04	
⁷⁴ As	17.77	D	1	595.83	59	⁷⁴ Ga(595.87keV, 91.80%, Pr=1)
⁷⁴ Ga	8.12	M	1	595.87	91.80	⁷⁴ As(595.83keV, 59%, Pr=1)
⁷⁵ Ge	82.78	M	1	264.6	11.4	
^{75m} Ge	47.7	S	1	139.68	39.5	^{99m} Tc(140.511keV, 89%, Pr=1)
⁸⁵ Kr	10.739	Y	1	513.997	0.434	⁹¹ Sr(513.30keV, SE)
⁸⁷ Kr	76.3	M	1	1077.0	8.64	
⁹¹ Sr	9.65	H	1	1024.3	33.5	
^{91m} Y	49.71	M	1	1204.80	0.26	⁷⁴ Ga(1204.22keV, 7.62%)
⁹⁵ Nb	34.991	D	1	765.803	99.808	
⁹⁵ Zr	64.032	D	1	756.725	54.38	¹⁵⁴ Eu(756.8020keV, 4.52%)
⁹⁵ Zr	64.032	D	2	724.192	44.27	¹⁵⁴ Eu(723.3014keV, 20.06%)
⁹⁹ Mo	65.924	H	1	739.500	12.20	¹³⁰ I(739.512keV, 82%)
⁹⁹ Mo	65.924	H	2	181.068	6.05	
^{99m} Tc	6.0072	H	1	140.511	89	^{75m} Ge(139.68keV, 39.5%, Pr=1)
¹⁰³ Ru	39.247	D	1	497.085	91.0	
¹⁰⁶ Ru	371.8	d	1	511.8605	20.4	Ani i. (511keV)
¹⁰⁶ Ru	371.8	d	2	621.93	9.93	¹³² I(621.2keV, 1.58%)
^{108m} Ag	438	Y	1	433.937	90.5	
^{110m} Ag	249.83	D	1	657.7600	95.61	
¹¹³ Sn	115.09	D	1	391.698	64.97	
¹²⁵ Sb	2.75856	Y	1	427.874	29.6	²¹¹ Pb(427.088keV, 1.76%)
¹²⁵ Sb	2.75856	Y	2	600.597	17.65	¹⁵² Eu(601.08keV, SE)
¹²⁵ Sb	2.75856	Y	3	635.950	11.22	
¹²⁷ Te	9.35	H	1	417.9	0.99	¹³⁰ I(417.932keV, 34.2%)
¹²⁹ Te	69.6	M	1	459.60	7.7	
^{129m} Te	33.6	D	1	695.88	3.0	
¹³⁰ I	12.36	H	1	536.066	99	
¹³¹ I	8.0252	D	1	364.489	81.5	^{131m} Te(364.98keV, 1.16%)
^{131m} Te	33.25	H	1	773.67	36.8	
¹³² I	2.295	H	1	163.930	1.95	¹³⁶ Cs(163.920keV, 4.69%) ²³⁵ U(163.357keV, 5.07%)
¹³² I	2.295	H	1	667.714	98.7	¹³⁰ I(668.536keV, 96%)
¹³² I	2.295	H	2	772.60	75.6	²²⁸ Ac(772.291keV, 1.49%)
¹³² Te	3.204	D	1	228.16	88	²³⁹ Np(228.183keV, 10.73%)
¹³³ I	20.83	H	1	529.872	87.0	
¹³³ Xe	5.2475	D	1	80.9979	36.9	¹³¹ I(80.185keV, 2.62%) ^{131m} Te(81.14keV, 3.92%) ¹⁴⁴ Ce(80.120keV, 1.36%)

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

*2) 重複ピークとして現れる核種名(表8のユーザーピークの場合はユーザーピーク名)及び観測エネルギー、放出γ線の場合は放出率及び定量ピークにあつてはその優先順位、エスケープピークの場合はその種類(SE:シングルエスケープ、DE:ダブルエスケープ)、サムピークの場合はその旨(SUM)を記載している。

表9 解析用核データライブラリに設定した定量ピーク (続き)

核種名	半減期	定量ピーク 優先度	γ 線エネルギー (keV)	放出率 (%)	重複ピーク
¹³⁴ Cs	2.0652 Y	Y 1	233.221	10.12	
¹³⁴ Cs	2.0652 Y	Y 1	604.721	97.62	⁶⁵ Zn(604.54keV, SE) ⁷⁴ Ga(604.21keV, 2.85%)
¹³⁴ Cs	2.0652 Y	Y 2	795.864	85.46	²²⁸ Ac(794.947keV, 4.25%)
¹³⁵ Xe	9.14 H	H 1	249.794	90	
¹³⁶ Cs	13.01 D	D 1	1048.073	80	
¹³⁷ Cs	30.08 Y	Y 1	661.657	85.10	⁶⁰ Co(662.23keV, SE)
¹⁴⁰ Ba	12.751 D	D 1	537.261	24.39	¹³⁶ Cs(537.07keV, SE)
¹⁴⁰ La	1.67858 D	D 1	1596.21	95.4	¹⁵⁴ Eu(1596.4804keV, 1.797%)
¹⁴⁰ La	1.67858 D	D 2	487.021	45.5	¹²⁹ Te(487.39keV, 1.42%)
¹⁴¹ La	3.92 H	H 1	145.4433	48.3	
¹⁴⁴ Ce	284.91 D	D 1	133.515	11.09	
¹⁴⁷ Nd	11.03 D	D 1	91.1050	28.9	
¹⁵² Eu	13.517 Y	Y 1	344.2785	26.59	
¹⁵⁴ Eu	8.601 Y	Y 1	1274.429	34.8	
²⁰³ Pb	51.92 H	H 1	279.1952	80.94	^{131m} Te(278.56keV, 1.72%)
²⁰⁶ Tl	4.202 M	M 1	803.06	0.110	
²⁰⁸ Tl	3.053 M	M 1	583.187	85.0	
²¹⁰ Po	138.376 D	D 1	46.539	4.25	
²¹¹ Bi	2.14 M	M 1	803.06	0.00103	
²¹¹ Pb	36.1 M	M 1	351.07	13.02	²¹⁴ Pb(351.9320keV, 35.72%, Pr=1)
²¹¹ Pb	36.1 M	M 1	404.853	3.78	
²¹² Bi	60.55 M	M 1	727.330	6.67	¹³² I(727.0keV, 2.2%) ¹³² I(727.2keV, 3.2%)
²¹² Pb	10.622 H	H 1	238.632	43.6	
²¹⁴ Bi	19.71 M	M 1	609.321	45.44	⁷⁴ Ga(608.40keV, 14.4%) ²¹⁴ Bi(609.29keV, SE)
²¹⁴ Bi	19.71 M	M 2	1764.491	15.29	
²¹⁴ Pb	27.06 M	M 1	351.9320	35.72	²¹¹ Bi(351.07keV, 13.02%, Pr=1)
²¹⁴ Pb	27.06 M	M 2	295.224	18.47	
²¹⁹ Rn	3.96 S	S 1	271.23	10.8	²²⁸ Ac(270.245keV, 3.46%)
²¹⁹ Rn	3.96 S	S 2	401.81	6.6	²⁰³ Pb(401.320keV, 3.35%)
²²³ Ra	11.4366 D	D 1	269.463	13.30	⁵⁹ Fe(269.59keV, DE) ²²⁸ Ac(270.245keV, 3.46%)
²²³ Ra	11.4366 D	D 2	154.208	6.02	¹³⁶ Cs(153.246keV, 7.7%)
²²⁴ Ra	3.66 D	D 1	240.986	4.10	^{131m} Te(240.93keV, 7.32%)
²²⁶ Ra	1603 Y	Y 1	186.211	3.57	²³⁵ U(185.713keV, 57.2%, Pr=1)
²²⁷ Th	18.68 D	D 1	235.96	12.9	
²²⁸ Ac	6.15 H	H 1	911.204	25.8	
²²⁸ Th	1.9125 Y	Y 1	84.373	1.19	²³¹ Th(84.2140keV, 6.80%, Pr=1) Pb(Kb1)(84.936keV)
²³¹ Pa	3.276 × 10 ⁴ Y	Y 1	302.667	2.3	
²³¹ Th	25.57 H	H 1	84.2140	6.80	²²⁸ Th(84.373keV, 1.19%, Pr=1) Pb(Kb1)(84.936keV)
²³⁴ Th	24.10 D	D 1	63.29	3.7	¹⁵² Eu(63.84keV, DE)
²³⁴ Th	24.10 D	D 2	92.38	2.13	²³⁴ Th(92.80keV, 2.10%, Pr=3)
²³⁴ Th	24.10 D	D 3	92.80	2.10	⁶⁵ Zn(93.54keV, DE) ²³⁴ Th(92.38keV, 2.13%, Pr=2)
^{234m} Pa	1.159 M	M 1	1001.03	0.842	
²³⁵ U	7.04 × 10 ⁸ Y	Y 1	185.713	57.2	²²⁶ Ra(186.211keV, 3.57%, Pr=1)
²³⁹ Np	2.356 D	D 1	106.123	25.34	

*1) 半減期の単位は、Yは年、Dは日、Hは時間、Mは分、Sは秒を表している。

*2) 重複ピークとして現れる核種名(表8のユーザーピークの場合はユーザーピーク名)及び観測エネルギー、放出γ線の場合は放出率及び定量ピークにあつてはその優先順位、エスケープピークの場合はその種類(SE:シングルエスケープ、DE:ダブルエスケープ)を記載している。