

## 1 生薬の放射能測定法

2 生薬は栽培品を収穫あるいは野生品を採取し、水洗、乾燥な  
3 どの加工調製を経て製せられるいわゆる天産品である。本参考  
4 情報は、天然由来を超える一定レベル以上の放射性物質を含む  
5 ことが懸念される場合に適用可能な、生薬の放射能測定法を示  
6 すものである。

7 本測定法は、 $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能を測定す  
8 る方法であり、放射性物質である $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ が対象で  
9 ある。

### 10 1. 原理<sup>1)</sup>

11 試料中の放射性核種の放射能を測定するには、放射性核種が  
12 崩壊したときに放出されるヘリウムの原子核の $\alpha$ 線、電子の  
13  $\beta$ 線、光子の $\gamma$ 線を測定して、放射線のエネルギーから放射性  
14 物質を決定し、単位時間当たり計数した放射線の数から放射  
15 能を決定する。放射線はその種類、エネルギーによって透過力  
16 が異なる。一般に $\alpha$ 線は最も透過力が弱く、紙で遮蔽できる。  
17  $\beta$ 線は $\alpha$ 線より透過力があるが、数mm程度の軽金属板で遮蔽  
18 でき、弱透過性放射線に分類される。一方、 $\gamma$ 線は透過力があり、  
19 遮蔽するには原子番号が高く、密度の大きな数cm ~ 10  
20 cm程度の鉛などの物質が必要となる。

21 放射線の透過力の違いは、放射線・放射能測定において重要  
22 な要素となる。放射性核種の決定には、一般に $\gamma$ 線が用いられ  
23 る。 $\alpha$ 線や $\beta$ 線は弱透過性放射線のため自己遮蔽(吸収)されや  
24 すく、表面汚染の測定などには適しているが、スペクトロメト  
25 リーによる放射性核種の同定は、試料調製など専門的な技術が  
26 必要で、容易ではない。一方、 $\gamma$ 線は物質内部からの放出でも  
27 物質透過に際して大部分の $\gamma$ 線はエネルギーを失うことなく、  
28 放射性核種から放出された $\gamma$ 線エネルギーの情報が測定スペク  
29 トルから得られる。放射性核種が放出する $\gamma$ 線のエネルギーは  
30 放射性核種ごとに決まっているため、得られたエネルギースペ  
31 クトルから放射性核種の同定が比較的容易にできる。生薬中の  
32 放射能濃度を測定するには、含まれる放射性核種の同定と、そ  
33 の放射性核種の濃度を測定する必要があるため、 $\gamma$ 線スペクト  
34 ロメトリーによる放射能測定法が推奨される。

35  $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能測定法に用いられる $\gamma$   
36 線の検出器としては、放射線の入射で電子-正孔対をつくる半  
37 導体検出器と、光を出すシンチレータが知られている。シンチ  
38 レータとはシンチレーション(閃光や蛍光)を出すもので、その  
39 光は非常に弱く、光による電子信号を増幅する光電子増倍管  
40 (Photo-Multiplier Tube)などと組み合わせて用いられる。生薬  
41 の放射性核種を測定できる検出器としては、半導体検出器の一  
42 つであるゲルマニウム半導体検出器(以下「Ge検出器」とい  
43 う。)が最も高性能である。また、取扱いが簡便な検出器とし  
44 て、タリウム活性化ヨウ化ナトリウムシンチレーション検出器  
45 (以下「NaI(Tl)検出器」という。)があり、生薬の放射能を測  
46 定することが可能である。

#### 47 1.1. 測定対象核種

48 測定の対象となる核種は $^{131}\text{I}$ 、 $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ の3核種である。

##### 49 1.1.1. Ge検出器

50 Ge検出器を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能測  
51 定法の解析に必要な放射線のデータを表1に示す。

52 表1 Ge検出器の測定対象核種放射線データ<sup>1)</sup>

核種	半減期	エネルギー	$\gamma$ 線 放出割合	サム効果の補正が必要な $\gamma$ 線 ( )内は $\gamma$ 線放出割合
$^{131}\text{I}$	8.021 日	364.5keV	0.817	284.3keV(0.061), 637.0keV(0.072), 他
$^{134}\text{Cs}$	2.065 年	604.7keV	0.976	569.3keV(0.154), 801.9keV(0.087)*, 他
		795.9keV	0.855	
$^{137}\text{Cs}$	30.17 年	661.7keV	0.851	ない(単一 $\gamma$ 線)

53 \* 分解能があまりよくない場合には、795.9keVと 801.9keVを一つのピーク(0.942)  
54 として扱ってもよい。

#### 55 1.1.2. NaI(Tl)検出器

56 NaI(Tl)検出器を用いた $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射  
57 能測定法の解析に必要な放射線のデータを表2に示す。なお、  
58 NaI(Tl)スペクトロメーターを用いた測定では、核種を精密に  
59 弁別して定量することが困難な装置を用いるため、放射性セシ  
60 ユムは $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ の合計として扱う。

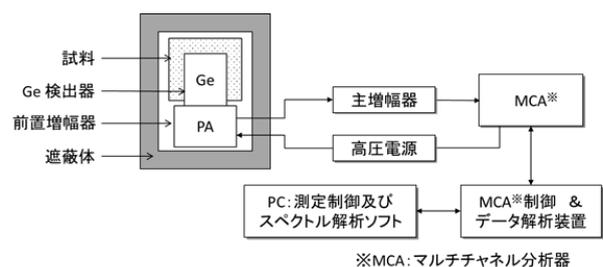
61 62 表2 NaI(Tl)検出器の測定対象核種放射線データ<sup>1)</sup>

核種	半減期	エネルギー	$\gamma$ 線 放出割合	サム効果の補正が必要な $\gamma$ 線 ( )内は $\gamma$ 線放出割合
$^{131}\text{I}$	8.021 日	364.5keV	0.817	284.3keV(0.061), 637.0keV(0.072), 他
$^{134}\text{Cs}$	2.065 年	604.7keV	0.976	795.9keVは 801.9keVと一つ のピーク(0.942)として扱う
		795.9keV	0.855	
		801.9keV	0.087	
$^{137}\text{Cs}$	30.17 年	661.7keV	0.851	ない(単一 $\gamma$ 線)

## 63 2. 装置

64  $\gamma$ 線スペクトロメーターの構成を図1に示す。装置は一般に、  
65 検出器、増幅器などの計測回路部及び解析部(パーソナルコン  
66 ピュータ:PC)により構成される(図1)。市販の装置には、高圧  
67 電源、増幅器、多重波高分析器(マルチチャンネル分析器)などの  
68 計測回路部が検出器と一体化し、遮蔽体を含む検出部と解析用  
69 PCにより構成されているような装置もある。詳細は、後述す  
70 る。

71



72 73 図1  $\gamma$ 線スペクトロメーターの構成<sup>2)</sup>

74 なお、Ge検出器には液体窒素を用いる冷却装置が付属され  
75 ている。

## 77 3. 試料の採取、調製、保存及び運搬

### 78 3.1. 試料の採取

#### 79 3.1.1. 採取容器、器具及び表示

80 採取容器は、未使用のポリエチレン袋を用いる。

81 試料採取のための補助器具は、ステンレス、ポリエチレン、  
82 又はそれと同等の材質を用いる。試料と接する部位は、汚染さ  
83 れないように、運搬時にはポリエチレン袋などで保護するとよ  
84 い。試料採取の現場で使用するので、複数の地点で試料採取を

85 行う場合には、これら補助器具からの汚染に注意する。  
 86 採取容器には、試料の採取前、又は採取後、以下の事項を速  
 87 やかに記入する。

- 88 ①試料番号(ロット)  
 89 (同一試料を複数容器に分けて採取する場合にはそれぞれ  
 90 が区別できるようにする)  
 91 ②品名  
 92 ③産地名  
 93 ④採取年月日  
 94 ⑤採取者名  
 95 ⑥特記事項  
 96 ⑦その他評価に必要な事項

### 97 3.1.2. サンプルング及び試料の取扱い

98 測定対象単位を代表する試料を採取するためにランダムサン  
 99 プリングを行い、採取した試料はよく混合して均一化する。原  
 100 則として1測定対象単位当たり1サンプルとする。

101 直接の採取が困難な状況では、採取用スcoopなどで試料を  
 102 採取し、必要に応じて漏斗などを用いて、採取容器に移す。

### 103 3.1.3. 採取量

104 試験に必要な量の2倍程度が望ましい。

### 105 3.2. 試料の調製

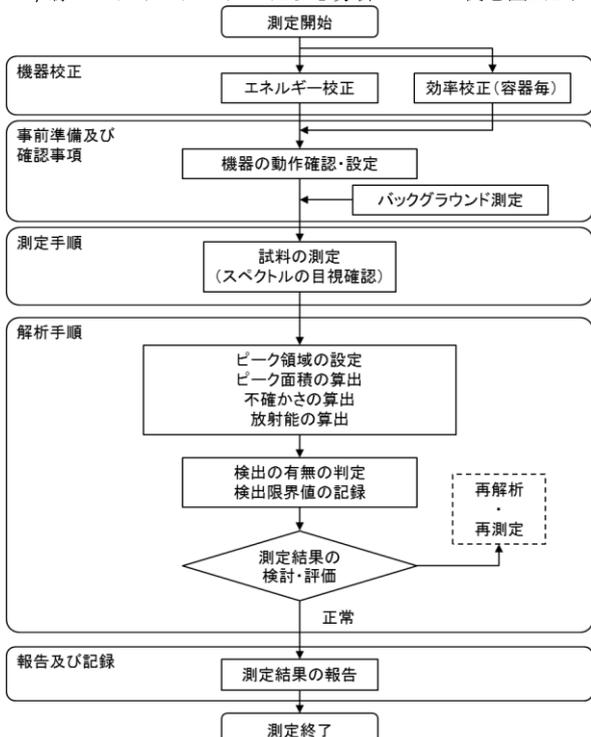
106 必要に応じて個々の測定装置に適した大きさに調製する。生  
 107 葉は、植物、鉱物、動物などの様々な部位を使用するため、  
 108 種々の大きさ、形状、固さがあり、その特性に応じた切裁や破  
 109 砕などをする。なお、試料を採取した後に洗浄など検査結果に  
 110 影響を与える処置をしてはならない。

### 111 3.3. 試料の保存及び運搬

112 採取後、速やかに試験する。試料の運搬時に、採取容器が破  
 113 損し、採取容器から試料が漏れないようにする。速やかに試験  
 114 できない場合は、湿気及び虫害などを避けて保存する。

### 115 4. 試料の測定

116  $\gamma$ 線スペクトロメーターによる分析フローの例を図2に示す。



## 118 図2 分析フローの例

119

### 120 4.1. Geスペクトロメーターによる測定

#### 121 4.1.1. 測定法の特徴

122 Ge検出器を用いる $\gamma$ 線スペクトロメトリーによる放射能測  
 123 定法は、エネルギー分解能が非常に高いためエネルギー決定の  
 124 精度が高く核種の同定が容易かつ確実であり、接近したエネル  
 125 ギーの他の $\gamma$ 線と明確に分別して解析することができる。また、  
 126  $\gamma$ 線ピークの広がり狭いため、ピーク計数値に対するバック  
 127 グラウンド計数値の比率が低いので低レベル放射能の分析に適  
 128 している。

#### 129 4.1.2. 機器・器具など

##### 130 4.1.2.1. 機器の構成

###### 131 (1) Ge検出器

132 検出器の相対効率 $\geq 20\%$ 程度以上とする。

133 エネルギー分解能は半値幅で1.8 ~ 2.0 keVが一般的である。

###### 134 (2) 遮蔽体

135 低レベル放射能測定では検出器の遮蔽は大変重要である。天  
 136 然核種( $^{40}\text{K}$ , ウラン及びトリウム系列核種)などによる $\gamma$ 線が  
 137 十分遮蔽されている必要がある。

138 検出器周りの遮蔽体としては、厚さ10 ~ 15 cmの鉛遮蔽体  
 139 が一般的に使われている。

140 遮蔽体内部空間のサイズは測定に使用する試料容器が納まる  
 141 大きさでなければならない。

142 検出器の形状には、縦型(ディップスティック), L型(液体室  
 143 素容器の側面にクライオスタットが付いている)などがあり、  
 144 遮蔽体の構造は検出器の形状や検出器と液体室素容器との接続  
 145 関係によって異なる。

##### 146 4.1.2.2. 器具など

###### 147 (1) 試料容器

148 試料容器は、密封性がよく、機械的強度が高く、酸や熱など  
 149 に強く、内部の試料が見える必要がある。試料容器として、内  
 150 容積1 ~ 2 Lのマリネリ容器、内容積100 ~ 500 mLの円筒形  
 151 容器などが使われている。試料容器は試料量を参考に決定する  
 152 こと。

###### 153 (2) エネルギー校正用線源

154 エネルギー校正用の線源としては $^{22}\text{Na}$  (511 keV, 1275  
 155 keV),  $^{54}\text{Mn}$  (835 keV),  $^{60}\text{Co}$  (1173 keV, 1332 keV),  $^{88}\text{Y}$   
 156 (898 keV, 1836 keV),  $^{137}\text{Cs}$  (662 keV),  $^{139}\text{Ce}$  (166 keV)のよ  
 157 うに100 keVから2000 keVまでをカバーするよういくつか  
 158 選んで用いる。それぞれの放射能は1000 ~ 3000 ベクレル(Bq)  
 159 とする。

###### 160 (3) 効率校正用線源

161  $^{137}\text{Cs}$ などを含む市販の標準試料で、容器と媒体の容積は試  
 162 料と同じもの。それぞれの放射能は1000 ~ 3000 Bqとする。

###### 163 (4) スペクトル解析ソフトウェア

164 ピーク探索、核種の同定、ピーク面積の算出、計数の統計に  
 165 よる不確かさの算出などが行えるもの。さらに、自己吸収の補  
 166 正やサム効果の補正が行えるものであることが望ましい。

#### 167 4.1.3. 機器校正

##### 168 4.1.3.1. エネルギー校正

169 エネルギー校正用線源を対象にして、次の手順により $\gamma$ 線エ  
 170 ネルギーとピーク中心チャンネルとの対応関係を一次式で求める。

171 (1) エネルギー校正用の線源を検出器の定まった位置に取

172 り付け、主要な $\gamma$ 線のピーク面積が数千カウント以上になるま  
173 でスペクトルを測定する。

174 (2)  $\gamma$ 線エネルギー( $E$ )とピーク中心チャンネル( $p$ )が直線関  
175 係にあるとして、スペクトル解析ソフトを用いて次の関係を求  
176 める。

$$177 E = a + b \times p$$

178 なお、 $\gamma$ 線のエネルギー範囲を0 ~ 2000 keV、マルチチャ  
179 ネル分析器のチャンネルフルスケールを4000 chとすることによ  
180 って、計数値が低いときにもピーク領域を簡単に設定でき、こ  
181 の場合、上式のaは0に近い値、bはできるだけ0.500に近い値  
182 となる。

183 (3) 以上のデータを記録・保存する。

#### 184 4.1.3.2. 効率校正

185 測定した $\gamma$ 線スペクトルから放射能を決定するには、ピーク  
186 に対する計数効率(以下「ピーク効率」という。)が必要であり、  
187 放射能分析にはピーク効率の校正が正しく行われていることが  
188 前提である。

189 効率校正には、濃度が分かっている効率校正用線源を用いる。  
190 通常はおよそ50 ~ 2000 keVのエネルギー範囲に適用できるよ  
191 うに、いろいろな核種を含む標準線源を測定して、エネルギー  
192 を変数とするピーク効率関数を求める。なお、ピーク効率は試  
193 料容器によって異なるため、複数の試料容器を使用する場合に  
194 は、試料容器ごとに効率校正を行う必要がある。

#### 195 4.1.4. 測定操作

##### 196 4.1.4.1. 事前準備及び確認事項

197 (1) 機器の動作確認と設定

198 試料を測定する前に、スペクトル解析ソフトを用いて、エネ  
199 ルギー校正用線源のスペクトルを解析し、主要な $\gamma$ 線について、  
200 ピーク中心チャンネル、半値幅及びピーク計数率が正常な値であ  
201 ることを確認する。

202 (2) バックグラウンド測定

203 設定した測定条件におけるバックグラウンドの測定を行う。  
204 試料と同一の条件を持つバックグラウンド測定用試料(同一試  
205 料容器を対象とする放射能が含まれていない同一量の測定対象  
206 核種を含まない水を封入)を置いて測定することが原則である。  
207 試料の放射能分析には最近測定したバックグラウンドスペク  
208 トルの解析結果を用いるので、測定に備えて、表1に示す測定  
209 対象核種の主要 $\gamma$ 線エネルギーに相当するピークが認められた  
210 場合には計数率と計数の統計による不確かさを算出し、結果を  
211 保存する。なお、バックグラウンドスペクトルにはウラン系列  
212 の $^{214}\text{Bi}$ から放出される609.3 keV (0.426)があり、このスペク  
213 トルは $^{134}\text{Cs}$ の604.7 keVに近いので注意する。

##### 214 4.1.4.2. 測定手順

215 試料容器へ試料を充填する際は、できる限り空隙を少なくし、  
216 均一になるよう留意する。そのため、測定する生葉の特質に合  
217 わせ、必要に応じ、切裁や破砕などの方法で、前処理する。

218 効率校正に用いた標準試料と同じ容器に同一量の試料を充填  
219 したものを検出器の中心に合わせて取り付ける。その際、中心  
220 からのずれは、マリネリ容器では1 cm程度以内、円筒形容器  
221 では2 mm程度以内にする。

222 ピーク効率及びバックグラウンド測定の結果などから目標と  
223 する検出限界値が得られるよう試料の測定時間を設定して測定  
224 を開始する。なお、計数率が非常に高いときには、ピーク形状

225 が劣化することがあるので注意する。

226 測定終了後、スペクトルデータを保存する。

#### 227 4.1.4.3. 解析手順

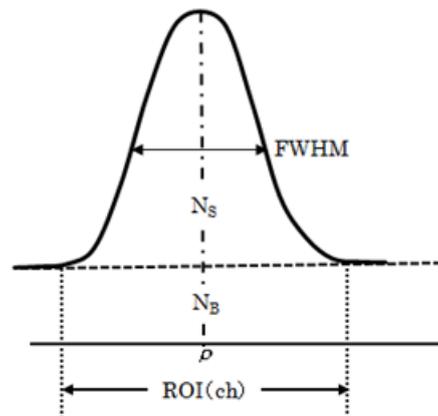
228 (1) ピーク領域の設定

229 測定が終了後、スペクトル解析ソフトにより測定対象核種の  
230  $\gamma$ 線に対してピーク領域(ROI)を設定する。その際、計数が不  
231 足している場合にはスムージング処理によって、チャンネルごと  
232 の計数のばらつきを平準化することもできる。

233 ピーク中心チャンネル( $p$ )と半値幅(FWHM)から、測定したス  
234 ペクトルが正常であることを確認できるが、微少なピークにつ  
235 いてはその値が変動することがある。

236 (2) ピーク面積の算出

237 ピーク面積( $N_s$ )は、解析ソフトによるROIの自動設定ではピ  
238 ーク探索に基づいて計算されるが、特に微少なピークについて  
239 は、ROIの位置と幅が適切であるか否かを確認する。



241 図3 ピーク領域(ROI)の設定とピーク面積( $N_s$ )及びバックグ  
242 ラウンド面積( $N_b$ )の算出  
243

244 (3) バックグラウンド計数率の差引きと計数の統計による不  
245 確かさの算出

246 通常の $\gamma$ 線スペクトロメトリーではバックグラウンド計数率  
247  $m_{BG}$ (以下「BG計数率」という。)の差引きは必ずしも必要では  
248 ないが、検出器と遮蔽体内部の汚染がある場合には、BG計数  
249 率の差引きを行う必要がある。正味の計数率 $n(\text{s}^{-1})$ を、試料の  
250 計数率( $n_s = N_s / t_s$ )から同一のピーク領域におけるBG計数率  
251 を差し引いた値として求める。

$$253 n = n_s - m_{BG}$$

254 計数誤差である $\sigma_n$ と計数率( $n$ )の関係は以下の式で表される。

$$255 n \pm \sigma_n = n \pm (n/t)^{1/2}$$

256 正味計数率に対する計数の統計による不確かさ $\sigma_n(\text{s}^{-1})$ はそれ  
257 ぞれの計数率の統計による不確かさ( $\sigma_s$ 及び $\sigma_{BG}$ )の合成として  
258 次のように表される。

$$259 \sigma_n = (\sigma_s^2 + \sigma_{BG}^2)^{1/2}$$

260 (4) 放射能の算出

261 試料の放射能 $A$  (Bq)と放射能濃度 $C$  (Bq/kg)は次式で求めら  
262 れる。

$$263 \quad A = \frac{n}{a \varepsilon f_{\text{SUM}}} \quad C = \frac{A}{M}$$

264 上式において、

265  $n$  : 計数率

266  $a$  : 表1に示される $\gamma$ 線放出割合 ( $\text{Bq}^{-1}$ )

267  $\varepsilon$  : ピーク効率

268  $f_{\text{SUM}}$  : サム効果補正係数

269  $M$  : 試料容器中の試料の質量(kg)

270 ただし、標準試料との比較測定の場合は、 $a$ 、 $\varepsilon$ 、 $f_{\text{SUM}}$  は同  
271 一であるから考慮する必要はない。すなわち、標準試料の放射  
272 能を $A_{\text{STD}}$ 、計数率を $n_{\text{STD}}$ とすると、 $A = (n/n_{\text{STD}}) A_{\text{STD}}$ で求めら  
273 れる。

274 (5) 検出に関する不確かさ

275 試料容器中の試料の質量の不確かさの考慮が必要でない場合、  
276 試料の放射能の計数の統計による不確かさ $\delta_A$  ( $\text{Bq}$ )と放射能濃  
277 度の計数の統計による不確かさ $\delta_C$  ( $\text{Bq/kg}$ )は次の関係で求めら  
278 れる。

$$279 \quad \delta_A = \frac{\sigma_n}{n} A \quad \delta_C = \frac{\delta_A}{M}$$

280 測定された放射能濃度 $C$ が $3\delta_C$ を超えた場合、統計的に有意  
281 であると考えられる。

282 (6) 検出限界値の記録

283 不検出となった場合にはその分析を行った際に検出されるで  
284 であろう放射能値における $3\delta_C$ を検出限界値として記録する。

285 検出限界値は、BG計数率、試料の測定時間、試料の質量の  
286 影響を受ける。放射能測定では、測定対象ピークのバックグラ  
287 ウンド部分の計数率(通常ピーク脇のベースライン領域から算  
288 出)、BG計数率、試料の測定時間及びバックグラウンド測定時  
289 間、試料の質量などから算出する方法が広く用いられている。

290 (7) 測定結果の検討・評価

291 測定対象核種ごとの測定結果を整理し、計数の統計による不  
292 確かさ、ピーク中心チャンネル、半値幅などにより正常であるこ  
293 とを確認する。確認結果に何らかの疑義がある場合は、必要に  
294 応じて再測定を行う。

295 4.1.5. 測定実施の注意点

296 4.1.5.1. バックグラウンドの管理

297 定量目的核種と同じ核種がバックグラウンドから検出される  
298 場合には、その原因を確認し、可能な限りバックグラウンドの  
299 影響を抑えることが必要である。室内の汚染による場合には、  
300 機器周りの遮蔽装置を清掃・確認し、適切な遮蔽を行うことで  
301 影響を抑えることができる。遮蔽体内や検出器そのものが汚染  
302 した場合には、除染に努めることが原則であるが、万一、除染  
303 できない場合には、放射能計算の際にバックグラウンドからの  
304 寄与を差し引く必要がある。

305 4.1.5.2. 機器、器具などの汚染防止

306 検出器はポリエチレンなどで覆い、汚染を防ぐようにする。  
307 万一汚染した場合もポリエチレンの包装を交換することで対処  
308 できる。検出器表面が汚染した場合には、中性洗剤やエタノール  
309 をしみ込ませたガーゼなどでふき取る。遮蔽体を開ける場合  
310 に、粉塵などの汚染物が入らないように注意する。

311 試料容器は簡単な洗浄を行ったうえで使用する。試料を試料  
312 容器に入れる際に試料容器の周りに試料が付着しないようにす  
313 ることも重要である。

314 高濃度の試料を測定する場合や除染が困難な場合には使い捨  
315 て容器を使用する。試料容器を繰り返して使用する場合は、フ  
316 ッ素コーティングなどを施すとよい。試料容器内にプラスチック  
317 袋を用いることも有効である。

318 4.1.5.3. 機器の日常管理

319 測定システム全体の定期的な性能テストを行うことは機器の  
320 管理として大変重要である。性能テストでは、チェック用 $\gamma$ 線  
321 源を検出器上の一定の位置に置いて測定し、低・中・高エネル  
322 ギーの $\gamma$ 線についてピーク中心チャンネル、半値幅、ピーク計数  
323 率を求め、それらを時系列データとして保存する。性能テスト  
324 はできれば毎日、少なくとも一連の試料測定に先立って行うこ  
325 とによって常に正確なエネルギー校正を用いることができる。

326 また、定期的に試料がない状態又は空容器を設置して測定を  
327 行うことにより、検出器周辺部や試料容器の汚染がないことを  
328 確認する。

329 検出器トラブルの一つとしてクライオスタット内の真空度劣  
330 化がある。これは、液体窒素の消耗量、エネルギー分解能の低  
331 下、目視検査(クライオスタットのネック部分における結露の  
332 有無)などから判断することもできる。

333 4.2. NaI(Tl)スペクトロメーターによる測定

334 4.2.1. 測定法の特徴

335 シンチレーション検出器は、シンチレータと呼ばれる固体の  
336 結晶に放射線が入射した際に生じる微弱な発光を光電子倍增管  
337 で電気信号に変えて放射線のエネルギーや数を求めるものであ  
338 る。Ge検出器に比べて比較的安価であり、常温で使えること  
339 が利点としてあげられる。また、市販されている固体結晶はサ  
340 イズが規格化されていることから、結晶の大きさと検出効率が  
341 決まる点も特徴である。固体結晶の中には、NaIやLaBr<sub>3</sub>など  
342 がある<sup>3)</sup>。

343 4.2.2. 機器・器具など

344 4.2.2.1. 機器の構成

345 シンチレーションスペクトロメーターは、一般的に、シンチ  
346 レーション検出器、高圧電源、増幅器、マルチチャンネル分析器、  
347 解析用PCから構成される。シンチレーションスペクトロメー  
348 ターは $\gamma$ 線スペクトル解析機能を有し、放射能測定から定量計  
349 算までを実施できるものとする。

350 (1) 検出器

351 エネルギー分解能は8%以下とする。

352 (2) 遮蔽体

353 環境放射線(バックグラウンド)の影響を低減するため、検出  
354 器の周りを鉛で遮蔽した構造のものが望ましい。検出器の側面  
355 のみの遮蔽では、低減効果は低いことから全面を囲むことがよ  
356 り望ましい。

357 (3) 試料台

358 遮蔽体の中に収め、検出器と試料が常に一定の空間的位置関  
359 係(ジオメトリ)で固定できる試料台を設置すること。その際  
360 には、検出効率や測定時の安定性の点から、検出器と垂直にビー  
361 カー試料容器を直上に置くことが望ましい。また、角形の試料  
362 容器の場合は、検出器と水平に容器側面と試料台を密着させる  
363 ことも可能である。

364 4.2.2.2. 器具など

365 (1) 試料容器

366 試料容器には、マリネリ容器、プラスチック瓶、ポリタンク  
367 などが用いられる。緊急時の場合には、試料を入れたバケツに

368 検出器を差し込むことでも定量が可能である。ただし、それぞ  
369 れの測定容器に対して、あらかじめ検出効率を算出しておくこ  
370 とが必要となる。

#### 371 (2) エネルギー校正用線源

372 エネルギー校正用の線源としては<sup>22</sup>Na (511 keV, 1275  
373 keV), <sup>54</sup>Mn (835 keV), <sup>60</sup>Co (1173 keV, 1332 keV), <sup>88</sup>Y  
374 (898 keV, 1836 keV), <sup>137</sup>Cs (662 keV), <sup>139</sup>Ce (166 keV) のよ  
375 うに100 keVから2000 keVまでをカバーするようにいくつか  
376 選んで用いる。γ線エネルギーとピーク中心チャンネルの関係を  
377 1次式で求める。

378 Ge検出器とは異なり、エネルギー分解能が低いため、γ線  
379 のエネルギーが接近した核種を混合した線源は用いない。

#### 380 (3) 効率校正用線源

381 効率校正には、放射能が分かっている効率校正用線源を用い  
382 る。ピーク効率は試料容器によって異なるため、複数の試料容  
383 器を使用する場合には、試料容器ごとに効率校正を行う必要が  
384 ある。スペクトロメーターのエネルギー分解能を考慮して、1、  
385 2本のγ線を放出する核種を用いることが望ましい。測定対象  
386 核種の<sup>134</sup>Csと<sup>137</sup>Csが含まれていることが望ましい。

#### 387 (4) スペクトル解析ソフトウェア

388 多核種によるピークの重なりがあってもピーク関数フィッテ  
389 イングなどにより着目するピークを分離して面積を求めること  
390 ができること。「放射能測定法シリーズNo.7 ゲルマニウム半  
391 導体検出器によるγ線スペクトロメトリー」<sup>4)</sup>に準拠したピー  
392 ク分析ができることが望ましい。また、定量する核種の放射線  
393 データ(半減期, γ線放出割合), 検出効率から、放射能濃度を  
394 計算することができることが望ましい。

### 395 4.2.3. 機器校正

#### 396 4.2.3.1. エネルギー校正

397 マルチチャンネル分析器のチャンネル幅は1000 ch程度とし、  
398 2000 keVまでのγ線が測定できるように調整した上で、幾つ  
399 かのエネルギー校正用線源を用いて、エネルギー校正式を求め  
400 る。

401 γ線エネルギー( $E$ )とピーク中心チャンネル( $p$ )には以下の関係  
402 がある。

$$403 E = a + b \times p$$

404 上式のaはできるだけ0に近い値、bはチャンネル数にもよるが  
405 できるだけ2.0に近い値であることが望ましい。

#### 406 4.2.3.2. 効率校正

407 γ線のエネルギーによってそれぞれの計数効率が異なること  
408 から、幾つかの核種を既知量含む効率校正用線源を使用して、  
409 検出効率( $\epsilon$ )をγ線エネルギー( $E$ )の関数として求める。数100  
410 keV ~ 2000 keVの領域では、以下の関係がある。

$$411 \log(\epsilon) = a + b \times \log(E)$$

412 定量を目的とする<sup>134</sup>Cs及び<sup>137</sup>Csを含む校正用線源があれば、  
413 目的とするγ線ピークに対する計数効率を直接求めることがで  
414 きる。

### 415 4.2.4. 測定操作

#### 416 4.2.4.1. 事前準備及び確認事項

##### 417 (1) 機器の動作確認と設定

418 光電子増倍管にメーカーが規定する極性と電圧を印加する。  
419 線源を検出器に近づけた場合に、プリアンプからの出力波形が

420 仕様にあっていることをオシロスコープで確認することが望ま  
421 しいが、使用する機種取扱説明書を参考にしても良い。又は、  
422 マルチチャンネル分析器に接続して、通常見られないノイズ信号  
423 が出ていないことと、デッドタイムメータが振り切れていない  
424 ことを確認する。なお、マルチチャンネル分析器は1000 ch程度  
425 までとする。測定エネルギー範囲は100 keVから2000 keV程  
426 度とする。

427 エネルギー校正は電源投入時及び毎日確認し、基準となるγ  
428 線(例えば<sup>137</sup>Csや<sup>40</sup>K)があらかじめ設定しているチャンネルにお  
429 いて検出できることを確認する。設定しているチャンネルと大幅  
430 なずれが生じている場合には増幅器のGAIN(ゲイン)を調整す  
431 る。

#### 432 (2) バックグラウンド測定

433 バックグラウンド測定について試料がない状態又は、空容器  
434 を設置して週1回程度測定を行い、検出器周辺部や測定容器の  
435 汚染がないことを確認する。また、定量するγ線と同じチャ  
436 ンネルにピークが認められる場合で、除染できない場合には、その  
437 計数率を求めて記録する。

#### 438 4.2.4.2. 測定手順

439 基本的にはGe検出器による方法とほぼ同じであることから、  
440 Ge検出器を用いたγ線スペクトロメーターの操作に従う。

441 (1) 測定時間の設定：目的とする検出限界値、試料の量によ  
442 って測定時間を決定する。検出限界値をより低くするためには、  
443 バックグラウンドの低減が最も有効である。

444 (2) 測定の開始、終了操作とその時間の記録

445 (3) スペクトルデータの保存：ファイル名は試料が分かるよ  
446 うな名称や日時などが分かる名称にしておく。

#### 447 4.2.4.3. 解析手順

448 基本的にはGe検出器による方法とほぼ同じであることから、  
449 Ge検出器を用いたγ線スペクトロメーターの操作に従うこと。  
450 なお、この解析における留意点は以下のとおり。

##### 451 (1) ピーク領域の設定

452 定量に利用するγ線ピークとしてバックグラウンドに対して  
453 有意な計数が得られている領域を設定する。その際、計数が不  
454 足してばらつきが大きく、領域の設定が難しい場合にはスムー  
455 ジング処理によって、チャンネルごとの計数を平滑化してからピ  
456 ーク領域を設定する。

##### 457 (2) 核種同定

458 エネルギー校正曲線から、定量する核種のγ線がどのチャ  
459 ンネルに対応するかを換算できるようにしておく。核データブック  
460 や環境放射線のスペクトルを備えておき、未知のピークが検出  
461 された場合には、γ線のエネルギーを調べ、核種の同定を行い、  
462 定量に利用するγ線の妨害の可能性を検討する。

##### 463 (3) ピーク面積の算出

464 ピーク部分の全計数からピーク下のバックグラウンド部分の  
465 計数を差し引く方法を行う。その方法で定量することが困難な  
466 ほど多重ピークとなっている場合は、ピーク関数フィッティ  
467 ング法でピーク分離を行ったうえでピーク面積の計算を行う。

##### 468 (4) 放射能の算出

469 放射能の算出に当たって、試料やバックグラウンドに含まれ  
470 る天然の放射性同位元素を考慮して、放射能の計算結果を評価  
471 する必要がある。その場合、定量に利用する核種のγ線ピーク  
472 に相当する領域における計数を求めて差し引き、正味の計数  
473 ( $n$ )を求める。

474 測定時間で割った計数率( $n$ )から以下の式によって試料の放  
475 射能 $A$ (Bq)及び放射能濃度 $C$ (Bq/kg)を求める。

$$476 \quad A = \frac{n}{\epsilon \ell \Sigma_{\text{SUM}}} \quad C = \frac{A}{M}$$

477 上式において、

478  $n$  : 計数率

479  $a$  : 表2に示される $\gamma$ 線放出割合(Bq<sup>-1</sup>)

480  $\epsilon$  : ピーク効率

481  $\ell_{\text{SUM}}$  : サム効果補正係数、ただし、サム効果の補正は<sup>134</sup>Cs  
482 について行う必要があるが、補正を行わない場合にはその  
483 旨記載する。

484  $M$  : 試料容器中の試料の質量(kg)

#### 485 (5) 検出限界値の算出

486 検出限界値はバックグラウンドスペクトルのチャンネルを対象  
487 とする核種の $\gamma$ 線が存在したと仮定した場合に算出される。ピ  
488 ーク領域のバックグラウンド計数を加算し、その計数誤差の3  
489 倍を検出限界値として表す。市販されている遮蔽体付きのスペ  
490 クトロメーターでは、<sup>131</sup>I及び<sup>137</sup>Csで30Bq/kg程度であるが、  
491 検出器の大きさ、遮蔽体の厚み、試料量で大きく異なる。

492 実際の試料におけるピークの検出限界値は、試料のスペクト  
493 ルにも大きく依存する。試料中に他の核種が共存する場合には、  
494 その核種によるコンプトンバックグラウンドも影響することに  
495 なり、検出限界値が大きくなる場合がある。

#### 496 (6) 測定結果の検討・評価

497 測定対象核種ごとの測定結果を整理し、計数の統計による不  
498 確かさ、ピーク中心チャンネル、半値幅などにより正常であるこ  
499 とを確認し、確認結果に何らかの疑義がある場合は、必要に応  
500 じて再測定を行う。

#### 501 4.2.5. 測定実施の注意点

##### 502 4.2.5.1. 温度の影響

503 NaI (TI)スペクトロメーターでは、検出器周辺温度の変動が  
504 あると、ピーク中心チャンネルが変動することがある。特に、夜  
505 間や冬期などは室温が変動しやすいことから、室温を一定に保  
506 つようにする。試料が冷温で保存されているような場合には、  
507 測定に先立って室温に戻しておく。

##### 508 4.2.5.2. バックグラウンドの管理

509 4.1.5.1.を準用する。

##### 510 4.2.5.3. 測定器の汚染防止

511 検出器はポリエチレンなどで覆い、汚染を防ぐようにする。  
512 万一汚染した場合もポリエチレンの包装を交換することで対処  
513 できる。検出器表面が汚染した場合には、中性洗剤やエタノー  
514 ルをしみ込ませたガーゼなどでふき取る。遮蔽体を開ける場合  
515 に、粉塵などの汚染が入らないように注意する。

516 試料容器は必要な場合、簡単な洗浄を行ったうえで使用する。  
517 容器内にポリエチレン袋を用いることもできる。試料溶液を容  
518 器に入れる際に測定容器の周りに汚染が付着しないようにする。

#### 519 5. 報告及び記録

520 記載事項の例は次のとおりである。

521 ① 使用機器情報：機器名(検出器サイズ、分解能)、測定チャネ  
522 ル数、解析ソフトウェアの種類、処理方法

523 ② 試料情報：試料名(番号)、採取場所、採取日時、採取量、採  
524 取容器の種類、採取担当者氏名

525 ③ 測定条件：試料容器の種類、試料量、ジオメトリ

526 ④ 測定記録：測定開始日時、測定時間(Live Time, Real  
527 Time)

528 ⑤ 解析記録：ピーク中心チャンネル、半値幅、ピーク面積とそ  
529 の計数の統計による不確かさ、試料計数率とその計数の統計に  
530 よる不確かさ、BG計数率とその計数の統計による不確かさ、  
531 ピーク効率、減衰補正係数、放射能及び放射能濃度とそれぞれ  
532 の計数の統計による不確かさ、検出限界放射能又は検出限界放  
533 射能濃度、測定・解析担当者氏名

534 なお、解析記録については、転記ミス为了避免するため使用する  
535 解析ソフトの報告書をそのまま用いてもよい。数値については、  
536 計数の統計による不確かさの有効桁数を基にして放射能又は放  
537 射能濃度の有効桁数の「丸め」を行う。

538 ⑥ 測定結果：核種名、放射能濃度(Bq/kg)、検出限界値

539 なお、測定業務を受託する場合には、原則として、測定業務の  
540 委託者が定める書式に測定結果を記載し報告するとともに、元  
541 データとともに保存する。

#### 542 6. 参考資料

543 1) 日本アイソトープ協会編、アイソトープ手帳第11版、丸善  
544 出版、東京、2011、ISBN 978-4-89073-211-1。

545 2) 平成23年10月12日付厚生労働省健康局水道課事務連絡「水  
546 道水等の放射能測定マニュアルの送付について」、別添  
547 「水道水等の放射能測定マニュアル」。

548 3) 昭和49年1月制定、文部科学省科学技術・学術政策局「放射  
549 能測定法シリーズNo.6 NaI(Tl)シンチレーションスペクト  
550 ロメータ機器分析法」。

551 4) 平成4年8月第3改訂、文部科学省科学技術・学術政策局「放  
552 射能測定法シリーズNo.7 ゲルマニウム半導体検出器による  
553 ガンマ線スペクトロメトリー」。

554

555