アクチバブル・トレーサ

繁 田 道 男

株式会社 東京原子力産業研究所

川崎市多摩区王禅寺1022

1. はじめに

アクチバブル・トレーサ (activable-tracer) という言葉は、わが国においては昭和43年秋、日本原子力産業会議主催で開催された第8回日本アイソトープ会議のパネル討論会 (アクチバブル・トレーサ利用上の問題点)¹⁾ が1つの契機となって使われるようになった。それ以前はおもに「後放射化法」という言葉で表現されていた。

いずれの言葉からも一連の実験を行なったのち、必要試料を採取し、これを放射化して目的元素を分析するということを意味つけた手法を表現している。

放射性同位元素を使用するいわゆる RI-トレーサ法は、実験を開始してから短い時間で結果が出ること、他の元素の妨害を受けないなどの長所があるが、実験開始までに科学技術庁長官の許可を受けるのに準備等を含め4か月以上は必要である。

さらに加え、最近の環境保全上、放射性同位元素を使用するトレーサ実験が行なえるのは限られた場所になってしまうであろう。

このようなことからアクチバブル・トレーサは今後主要な技術となることが予想される。

社団法人日本アイソトープ協会の理工学部会の専門委員会として「流れの測定に関する専門委員会」²⁾ がある。ここではあらゆる分野における RI-トレーサとアクチバブル・トレーサの利用について検討中である。また同様な専門委員会として「汚染物質の放射化分析に関する専門委員会」³⁾ があるが、ここでもアクチバブル・トレーサを切り離して検討することはできないと思う。

アクチバブル・トレーサは試料採取後に放射化するため、それまでの実験では科学技術庁長官の許可が不要であることは言うまでもない。したがって一連の実験後、試料を専門の機関に放射化ならびに分析を依頼すれば法律の規制を受けることなく結果を得ることができる。

2. アクチバブル・トレーサの原理と特徴

アクチバブル・トレーサの原理は、トレーサの投入から一連の過程を経て試料採取し、放射化を開始するまでは非放射性物質であるから、吸光度法、蛍光法、原子吸光法、炎光光度法、発光分光法、化学分析法などを用いるトレーサ実験と操作は何ら変わらないと考えてよい。それぞれの分析法で検出しやすいトレーサを使用することも変わらない。

アクチバブル・トレーサの場合は、放射化しやすいものを使用することになる。

採取した試料に原子炉・加速器または放射性同位元素の中性子を照射すれば放射化させることができる。放射化した試料は放射線検出器によって目的とする核種を測定する。

原理としてはきわめて簡単であるが実際に行なう場合には種々検討しなければならないことがある。このことについては次章以下で述べる。

アクチバブル・トレーサの特長は前章で述べたが RI-トレーサと比べての欠点は

- 1) 現場での連続測定ができない場合が多い。
 - 2) 試料を採取してから結果がでるまでに時間がかかる。
 - 3) 妨害元素 (放射化分析にさいして、試料中に存在するトレーサ以外の元素) の影響がある。
 - 4) 採取する試料数が多い場合がある。
 - 5) RI-トレーサに比べ費用がかかる場合が多い。
- などがあげられる。

しかし、いつでも、どこでも、誰でもできるという特長と天秤にかければ、この欠点は十分カバーすることができる。

† Activable-Tracer, Michio SHIGETA: Tokyo Atomic Industrial Research Laboratory Ltd., 1022, Ozenji, Tama-ku, Kawasaki-city.

3. トレーサの選定

トレーサの選定はアクチバブル・トレーサを成功させるか否かの重要な要素をもっている。トレーサを選定する場合の必要条件のうち特記すべきことは、

- 1) トレーサは被測定物と物理的・化学的とも同一の挙動をする。
- 2) 使用する中性子源によって容易に放射化される元素である。
- 3) 放射化されたトレーサが放射線検出器によって十分測定できるだけの放射線強度と半減期をもっている。

ことなどがあげられる。この他、トレーサが安価であることなどもあげられる。

1)の被測定物と物理的・化学的とも同一の挙動をするかどうかを調査することも大きなアクチバブル・トレーサ利用上の課題である。たとえば、河川水や地下水の移動を調べる場合、単に水に溶解するという理由でトレーサの選定はできない。堀口らはいくつかのトレーサを同一条件下での吸着損失を検討し、図1の結果⁴⁾を得たと報告している。

図1 バッチ法によるトレーサ損失実験の結果
(トレーサ含有量は100ppm)

さらに堀口ら、同じトレーサでも含有量に対する検討もし、図2の結果⁴⁾を報告している。

この1例をみてもトレーサが被測定物と同一挙動をしているか否かの判定がむずかしい。これは地下水、

図2 ^{51}Cr の損失曲線

表1 繊維の生成放射能の比較

織 維 名	1 mgあたりの 相 対 強 度
テ ビ ロ ン	640
ガ ラ ス 織 維	380
カ ネ カ ロ ン	360
P V A — P V C	270
綿	5.9
ア セ テ ー ト	3.8
羊 毛 (ス ラ イ バ ー)	3.5
ベ ス ロ ン	2.3
羊 毛 (原 料)	2.3
亜 麻	1.3
ビ ス コ ー ス	1.3
絹	1.2
カ シ ミ ロ ン	1.0
ビ ニ ロ ン	1.0
テ ト ロ ン	0.74
エ ク ス ラ ン	0.50
ポリプロピレン (油剤付)	0.42
ナ イ ロ ン '66	0.42
ポ ン ネ ル	0.41
ポリプロピレン (油剤なし)	0.32

比較条件: γ 線エネルギースペクトルの 0.84MeV 付近

照射条件: $5.7 \times 10^{11} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ で 1 分間

測定条件: 照射終了後 7 分経過したときから 100 秒あたりの計数

河川水のみならず、工場内の原料、大気中の煤塵などあらゆるアクチバブル・トレーサについてまわる問題で、被測定元素と同一の放射性同位元素をトレーサにするのに比べれば大きな欠点の1つである。

2)の使用する中性子源によって容易に放射化される元素であるかどうかは、中性子のエネルギーが決まれば計算もできるし、多くの教科書にも数値が記載されている。感度とも言えるものであるが、このことについてはあとで述べる。

3)十分測定できるだけの放射線強度と半減期をもっていることも欠くことができない重要なことである。

図3 Al中に0.001 wt%のFeを混入させた場合の γ 線スペクトル

図4 Al中に0.052 wt%のFeを混入させた場合の γ 線スペクトル

図5 Al中に0.17 wt%のFeを混入させた場合の γ 線スペクトル

放射線強度は放射化断面積とトレーサの量に関係してくるものであるが、合わせて被測定物の誘導放射能も知る必要がある。

たとえば表1は種々の繊維の素材を原子炉で一定時間照射し、同一条件で測定した誘導放射能を比較したものである。繊維によって誘導放射能に大きな差がある。したがってトレーサの感度と合わせてトレーサの量も検討する必要がある。

もう1つの例として Al-Fe 合金中の Fe を追跡したものをあげる。図3は Al 中に0.001 wt%のFeが含まれている試料であるが、この場合不純物として Al 中に混入している Sc の誘導放射能によって Fe の放射性同位元素は検出されていない。図4は0.052 wt%のFeが含まれている試料で、やっとFeの放射性同位元素の光電ピークが現われてきている。図5は0.170 wt%のFeが含まれている試料であるが、このくらいになると Fe による光電ピークが顕著である。

このように、被測定物ならびにその中に含まれる不純物の誘導放射能をあらかじめ十分知ることでもある。これを知ることによってトレーサの種類、濃度を決定することができる。

4. 放射化分析法の原理と特徴

放射化分析法を中性子源別に分けるとつぎのように大別できる。

- 原子炉
 - ・高速中性子を利用する。
 - ・熱中性子を利用する。
- 加速器
 - ・高速中性子を利用する。

放射性同位元素 $\left\{ \begin{array}{l} \cdot \text{高速中性子を利用する。} \\ \cdot \text{熱中性子を利用する。} \end{array} \right.$

原子炉，加速器，放射性同位元素のいずれの場合も原理は同じである。

1) 放射化分析法の原理

放射化分析は核反応によって生成する放射性同位元素の放出する放射線の種類，エネルギー，半減期を測定することによって元素を分析する技術である。

一般には標準試料として定量すべき元素の既知量を試料とともに中性子照射し，両者の放射能を比較して定量する場合が多い。

標準試料を用いて放射化分析を行なう場合，試料中の定量すべき元素を $w(g)$ ，標準試料中の元素を $w_0(g)$ とし，中性子照射によって生成する放射能をそれぞれ C および C_0 とすれば

$$C = \frac{0.6w \cdot \theta \cdot f \cdot \sigma}{3.7 \times 10^{10} A} (1 - e^{-0.693t/T}) \dots\dots\dots(1)$$

$$C_0 = \frac{0.6w_0 \cdot \theta \cdot f \cdot \sigma}{3.7 \times 10^{10} A} (1 - e^{-0.693t/T}) \dots\dots\dots(2)$$

ここに， A ：質量数， θ ：存在比， f ：中性子束密度($n/cm^2 \cdot sec$)， σ ：放射化断面積(barns)， t ：中性子照射時間， T ：半減期

表2 放射化分析感度表

(単位： $10^{-9}g$)

元素名	熱中性子放射化法		元素名	熱中性子放射化法		元素名	熱中性子放射化法	
	γ 計測法	β^- 計測法		γ 計測法	β^- 計測法		γ 計測法	β^- 計測法
A	4	4	Hg	5	5	Rh	0.4	0.4
Ag	4	4	Ho	0.09	0.04	Ru	70	7
Al	7	7	I	0.7	0.1	S	9,000	900
As	0.5	0.3	In	0.006	0.004	Sb	2	1
Au	0.07	0.07	Ir	0.2	0.05	Sc	3	2
Ba	7	2	K	50	9	Se	60	30
Bi		120	Kr	30	10	Si	70,000	50
Br	0.7	0.7	La	0.04	0.04	Sm	0.1	0.1
Ca	1,000	1,000	Lu	0.03	0.01	Sn	20	20
Cd	7	7	Mg	600	400	Sr	1	1
Ce	50	20	Mn	0.03	0.03	Ta	20	10
Cl	3	1	Mo	30	30	Tb	5	5
Co	20	20	Na	1	1	Te	9	9
Cr	200	20	Ne	10,000	3,000	Th	10	10
Cs	40	40	Nb	1	1	Ti	1,000	300
Cu	0.4	0.4	Nd	4	4	Tl		140
Dy	0.02	0.0005	Ni	60	30	Tm	9	2
Er	2	2	Os	2	2	U	1	1
Eu	0.02	0.002	P		30	V	0.6	0.6
F	1,000	1,000	Pb		5,000	W	0.3	0.3
Fe	10,000	6,000	Pd	0.9	0.9	Xe	40	40
Ga	9	0.8	Pr	9	0.4	Y	10,000	2
Gd	30	5	Pt	10	10	Yb	0.4	0.4
Ge	50	5	Rb	30	30	Zn	80	80
Hf	30	30	Re	0.2	0.03	Zr	330	330

(備考) 1 熱中性子束密度 $2 \times 10^{12} n/cm^2 \cdot sec$

2 照射時間

半減期 ≥ 24 時間 : 15時間

" < " : 5時間またはそれ以下

3 放射能検出の限界

半減期 ≥ 10 分 : 5 cps

1分 $\leq$ " < 10分 : 50 cps

" < 1分 : 500 cps

図6 14MeV 中性子に対する放射化分析感度¹¹⁾

となり、(1)および(2)式から

$$w = \frac{Aw_0}{A_0} \dots \dots \dots (3)$$

となる。

式としてはきわめて単純ではあるが、存在比、放射化断面積、半減期、質量数は元素特有の定数であるから感度を左右するのは中性子束密度ということになる。

したがって放射化分析の感度を上げるには中性子束密度の高い中性子源が要求される。中性子束密度だけから言えば原子炉がもっとも適した中性子源ではあるが、加速器や最近とくに脚光をあびている ^{252}Cf も使用目的^{6), 7), 9)} によっては欠くことのできない中性子源である。とくにオンライン、インストリームでの放射化分析が必要な場合は原子炉では太刀打ちできない中性子源である。

2) 放射化分析法の特長¹⁰⁾

放射化分析法は他の分析法に比べて多くの特徴を有している。

まず長所としてはつぎの3つが上げられる。

(a) 感度が高い

熱中性子束密度が $10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 程度であれば水素から酸素までの軽い元素をのぞけば $10^{-6} \sim 10^{-12} \text{ g}$ が定量できる。加速器では酸素の分析ができるのが特長である。表2には熱中性子を利用した放射化分析的感度の例を、図6には14MeVの中性子を利用した場合の感度の例をそれぞれ示す。

(b) 信頼性が高い

放射化分析は微量分析に適用した場合、もっとも信

頼性が高い方法である。一般に、微量分析の場合には、器具・試薬等による試料の汚染が誤差を大きくする原因になるが、放射化分析は放射性の核種だけを測定の対象とするので、試料を一度放射化すれば、そのあとで非放射性の目的元素が混入してもまったく差し支えない。むしろつぎにのべるように化学分離する場合には意識的に添加することもある。

放射化分析のように数マイクログラムあるいはそれ以下の微量成分を化学分離する場合、器壁あるいは他の沈殿への吸着が大きな誤差の原因にもなる。

これを防止するために放射化分析では、測定対象元素と同じ元素の非放射性元素(担体)を既知量(数十mg)を放射化した試料に加え、均一に混合してから分離する。このように放射化された目的元素は多量の担体に同伴されて移動するので、吸着現象がおこってもその影響は無視できるほど小さくなり、同時に多量成分の取扱い方法で微量成分を分離できるので操作も確実になる。

また、担体の添加量および測定試料として分離した回収量は、簡単に測定できるので、分離の収率が求められる。この値はとりもなおさず測定核種の化学収率なので、個々の試料について化学分離における損失量が補正できることになる。

従来法であると収率が100%保証されるような面倒な方法をとるか、実験ごとの収率を一定とみなして予備実験で求めた収率によって補正する以外には方法がないので、放射化分析のほうが信頼の点ですぐれているといえる。

(c) 非破壊分析ができる

他の核種の妨害がなければ、放射化した試料をそのまま測定して定量および定性分析ができる。とくに最近、半導体検出器のように分解能のよい放射線検出器が使用できるようになると非破壊分析でできる場合が多い。

トレーサ実験の場合は、非破壊分析でできる場合が多いし、また非破壊分析でできるように意識的にもっていくべきである。

3) 放射化分析の短所

前に述べたように放射化分析は多くの特長をもっているが、実施にさいしてつぎのような注意も必要である。

(a) 誤差

放射化分析の基礎になる放射性核種の壊変は確率的に起こる現象で、単位時間あたりの壊変数は変動する。この統計的な誤差は試料の放射能を強くもたせるか、または長時間測定することによって小さくできるが、実用的には標準試料などの秤量誤差など他の原因による誤差を含めて、放射化分析の誤差は5~10%を考慮しなければならない。

(b) 中性子エネルギーの影響

原子炉からの中性子のエネルギーは平均エネルギー0.025eVの熱中性子のほかに、数MeVのエネルギーをもつ高速中性子に至るまでいろいろな割合いで存在する。

また、加速器や放射性同位元素からの中性子のエネルギーは数MeVないし10数MeVとその線源特有のものが放射されるが、付近の状況によって減速され、低エネルギー領域の中性子が存在する。

熱中性子と高速中性子とでは原子核と起こす反応の型式が違うので、2つの異なった元素の原子核から同一の放射性核種ができる場合¹²⁾がある。たとえば熱中性子によって天然のNaからNa-24という核種ができ、高速中性子によってAlからもNa-24ができる。したがってあらかじめこれらについて十分検討しておく必要がある。

(c) 自己吸収

試料のなかに中性子を吸収しやすい元素、(たとえばB, Cdなど)が多量に含まれていると、中性子が試料の表面で吸収され、内部に到達しないので、分析値は過小に出てしまう。この場合には精度や検出限界を犠牲にして少量の試料で分析するか、あるいは試料と組成形状が等しい模擬試料をつくり、これに既知量の目的元素を含ませ標準試料として使用するなどの必要がある。

5. アクチバブル・トレーサとして使用できる代表的元素・感度・費用

アクチバブル・トレーサを放射化分析するというところで話をすすめてきた。ここでは実際にアクチバブル・トレーサとして使用する元素、感度、費用について述べる。

1) 放射化分析の感度

放射化分析の感度については前章でも触れたが、別の角度から述べる。分析できる元素としてもっとも一般的なのは熱中性子を利用する放射化分析である。さきに述べた放射化分析の元素別検出感度をここでは検出感度別にしてみた。その結果を表3¹³⁾に示す。

表3 放射化分析の感度比較表

検出感度(g)	元 素
$10^{-12} \sim 10^{-11}$	In
$10^{-11} \sim 10^{-10}$	Eu, Dy, Lu, Mn, La, Au
$10^{-10} \sim 10^{-9}$	Sm, Ir, Re, Th, W, Yb, Rh, Cu As, U, Br, I, Pd
$10^{-9} \sim 10^{-8}$	Na, Nb, Sr, Sb, Os, Er, Sc, Cl A, Ag, Nd, Tb, Hg, Cd, Ba, Al Tm, Te, Pr, Ga
$10^{-8} \sim 10^{-7}$	Pt, Co, Ta, Sn, Mo, Gd, Hf, Kr Rb, Cs, Xe, K, Ce, Ge, Se, Ni Zn
$10^{-7} \sim 10^{-6}$	Cr, Zr, Mg
$10^{-6} \sim 10^{-5}$	Ti, Ga, F, S
$10^{-5} \sim 10^{-4}$	Y, Ne, Fe, Si

(備考) 1) 熱中性子束密度: $2 \times 10^{12} n/cm^2 \cdot sec$

2) 照射時間 $\begin{cases} \text{半減期} \geq 24 \text{時間} : 15 \text{時間} \\ \text{半減期} < 24 \text{時間} : 5 \text{時間またはそれ以下} \end{cases}$

3) 検出限界

半減期 ≥ 10 分: 5 cps
1分 $\leq$ " < 10 分: 50 cps
" < 1 分: 500 cps

アクチバブル・トレーサを実施するためには、まずトレーサを選定することになる。放射化分析の感度からすれば、In, Eu, Dy, Lu, Mn, La, Au, Cu, Br, Asなどはもっともすぐれている部類に属していると言える。この感度表より、その現場に使用できる元素またはその化合物、混合物を選べばよい。

たとえば、実験の目的別に使用するトレーサの例を

表4 アクチバブル・トレーサの例

実験の種類	トレーサ元素の例
排ガス追跡	Co, Br, Cl, F
河川水・農業用水の追跡	Br, La, Sm, Eu, Dy
工場排水の追跡	Br, La, Eu, Cu, Mn, Dy, In
地下水の追跡	Na, Cl, Br, La, Mn, Cu

表5 アクチバブル・トレーサとして使用できる代表的元素の感度と費用

元素	核種	感度 (10^{-9} g) ①	トレーサの 化学形	値段 (円/g)②	①×②
In	^{116m}In	0.006	$\text{InCl}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	108	0.65
Eu	^{152m}Eu	0.02	$\text{EuCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	3,400	680
Dy	^{165}Dy	0.02	$\text{DyCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,000	2.0
Mn	^{56}Mn	0.03	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1	0.03
La	^{140}La	0.04	$\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	24	0.96
Au	^{198}Au	0.07	$\text{NaAuCl}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,300	91
Sm	^{153}Sm	0.1	$\text{SmCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1,000	100
W	^{187}W	0.3	Na_2WO_4	4.1	1.2
Cu	^{64}Cu	0.4	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1.8	0.72
Br	^{82}Br	0.7	NH_4Br	1.4	0.98
Na	^{24}Na	1	NaCl	0.44	0.44
Cl	^{36}Cl	3	NH_4Cl	0.5	1.5
Co	^{60}Co	20	CoCl_2	2.0	40

(注) 1) 値段は試薬として購入したときの1gあたりの価格。

2) 表中の最右欄は核種の検出感度と試薬の価格との積を示したもので、トレーサ選定の目安とした。

表4に示す。

2) アクチバブル・トレーサとして使用できる元素の費用

放射化分析の感度が高くとも入手が困難またはきわめて高価であっては利用価値が下がる。

そこで、アクチバブル・トレーサとして使用できる元素のうち、入手が容易なものについて価格を調べるのも大切である。表5に代表的なものの費用を示す。

化合物の形態によっても差があるが、トレーサの元素としては Mn, Cu, Br, Na, Cl などが安価であると言える。しかし、価格だけで決めると、トレーサの目的を達することができないことがあり、つねに感度とにらみ合わせておくべきであることは言うまでもな

い。

この検討を容易にするため、放射化分析の感度あたりのトレーサ元素の単価の積で表現するのも一案である。表5にはこの例を記してある。

この表5からわかるように、トレーサ元素の価格は高くても、放射化分析の感度が高いと、使用するトレーサ数量は少なくてすむということになる。このような見方をすれば、トレーサ元素の単価としては高い部類には入っている In, Dy, Mn, La などは総合的には安いという評価ができる。

3) アクチバブル・トレーサの費用

トレーサの投入から試料採取までの操作は、中性子源が原子炉、加速器、放射性同位元素であってもそれほど大きな差はない。また、放射化したのちの操作にしてもさほどの違いはない。大きな違いは放射化の段階である。

加速器や放射性同位元素では中性子束密度が低いので、試料の放射化は一度に多数ということは不可能である。原子炉は中性子束密度が高く、しかも同時の多数の試料を処理することができる。

これは設備費と関係してくる。設備費の安い順に並べると、放射性同位元素、加速器、原子炉ということになり、これにしたがって管理費もこれに比例してくる。

したがって、利用する場合、このことも考慮しておく必要がある。1試料1成分という分析では原子炉を利用する場合は成分あたりの費用は高額になる。

アクチバブル・トレーサの場合、試料数が多いのが一般である。このようなときは原子炉を利用して放射化分析するのが費用的には安くなり、一般の分析費と同等、場合によっては一般分析より安くなることもある。

感度、信頼性と合わせて考えれば一般の分析費に比べ放射化分析費は決して高くはない。

6. アクチバブル・トレーサ利用上の注意事項

アクチバブル・トレーサを実際に利用する場合の注意すべき事項のいくつかはすでに述べたが、ここではその他、注意しておくべきことをまとめて述べる。

1) 試料採取にさいしての注意

放射化分析では一般に採取する試料が少なくてもよい。ため、採取・分割・縮小などに配慮が必要である。対象が、粉末の場合には比較的問題は少ないが、塊状では、粉碎・混合等の操作がともなうので、トレーサ濃

度が低いときは、使用した器具や容器からの対象元素の混入などに注意が必要である。

また、試料が水溶液の場合で、しかも試料中のトレーサの濃度が低いときには、容器からの不純物の浸出、表面付着不純物の溶出、トレーサの器壁への付着などにも注意する必要がある。

これらにもとづく誤差を防ぐために、使用する器具、容器の材質に注意が必要で、水溶液の場合などは、酸など加えて吸着損失を防ぐなどの考慮も必要である。もちろん、トレーサ濃度の高い場合は、これらの問題は無視できることが多い。

2) 測定についての注意

放射線の測定は、NaI (TI) クリスタルを使った検出器がまだまだ一般的である。最近では価格は高いが Ge(Li) 半導体検出器も相当使用されるようになってきた。とくに後者の検出器は分解能が前者に比べてすぐれているのでマトリックスが複雑な場合にはぜひ利用すべきであろう。

試料を放射化するさい、包装材料として、アルミニウム、石英、ポリエチレンなどが用いられる。ポリエチレンは誘導放射能が他の包装材料に比べて少ないが、不純物としてきわめて微量ではあるが、Na, Al, Mn, Cu などが含まれる場合が多く、これも同時に放射化される。

表6 液体中水銀の照射容器への吸着率

		H ₂ O中のHg(%)	0.1N H ₂ SO ₄ 中のHg (%)
ポリエチレン	試料液	29.4	38.7
	1回洗浄液	21.3	22.1
	2回洗浄液	10.3	8.3
	3回洗浄液	3.2	5.1
	4回洗浄液	2.3	2.0
	5回洗浄液	1.7	2.4
石英	6回洗浄液	1.4	1.0
	容器	28.4	20.4
石英	試料液	96.4	96.2
	1回洗浄液	2.6	3.3
	2回洗浄液	0.3	0.2
	3回洗浄液	0.2	0.06
	4回洗浄液	0.2	0.1
	5回洗浄液	0.02	0.01
容器		0.3	0.03

- 備考 1) 原液の Hg 濃度 4 ppm
 2) 熱中性子束密度: $2.7 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec}$
 3) 放射化時間: 5 時間
 4) 洗浄は水で行なった

そこで試料を測定するには放射化時に使用した包装材料からとり出し、別の包装あるいは容器に入れなければならない。

粉末などの場合は重量で残存量を測定し補正できるが、液体のときにはトレーサが容器壁につき誤差を生じさせる場合がある。

たとえば、塩化金の水溶液を石英ならびにポリエチレンの容器に入れ放射化してみると容器の内壁に金が析出する。この場合、容器内の水溶液のみをとり出して測定したのでは大きな誤差を生じる。

表6は4 ppmの水銀を水と0.1Nの硫酸に溶かし、これをポリエチレンと石英のアンプルに入れ放射化し、アンプル内の残存量を調べた結果である。この表からわかるように、最終的には水の場合も硫酸の場合も完全には取りのぞくことはできない。

このような現象は放射化分析では簡単に確認できるので、注意を怠らなければ誤差を防ぐことができる。

もう1つの注意事項は最適な測定条件で測定することが必要であろう。図7は0.3 wt%のScを入れたソーダガラスを放射化した場合のNaI(Tl)検出器を使ったときの γ 線エネルギースペクトルである。放射化終了直後にはマトリックス元素のNaから生成した ^{24}Na が妨害になっている。冷却時間を十分にとればScの放射性同位元素である ^{46}Sc の γ 線による光電ピークが顕著である。

図7 0.31 wt% Sc入りガラスの γ 線スペクトルの経時変化

放射線検出器、トレーサ、マトリックスのそれぞれを合わせ、最適条件で測定すべきである。

7. アクチバブル・トレーサの利用

さきにも述べたようにアクチバブル・トレーサは多くの分野で利用されているし、今後も利用されていく

であろう。

現在報告されているものも多く、その実例をあげるには限られたページではむずかしいので、ここでは、どのようなところで利用されてきたか項目をあげておく。

- (1) 摩耗の測定
- (2) 洗浄効果の測定
- (3) 腐食機構の解析
- (4) 気体・液体・固体の漏えい測定
- (5) 収縮・凝固・偏析の測定
- (6) 漂砂の測定
- (7) 流れ・流量・流速の測定
- (8) 混合・溶解・分離・分散などの測定
- (9) 拡散・吸着の測定
- (10) その他

8. あとがき

アクチバブル・トレーサの特長と、実際に利用するにあたっての注意事項を放射化分析と合わせて述べた。アクチバブル・トレーサは放射化分析だけでなく、オートラジオグラムとしてトレーサ元素のマトリックス内での分布を知ることができる。

しかしオートラジオグラフィについては、すでに本誌¹⁵⁾に紹介されているので割愛した。

アクチバブル・トレーサは今後いっそう利用すべき技術であると思うのでそれに関連する放射化分析、オートラジオグラフィ、などの技術も是非向上させて行かねばならないと信ずる。

同時に、現在社団法人日本アイソトープ協会の専門委員会等でマニュアルができれば利用もいっそう活発

になると思われる。

文 献

- 1) 小林, 繁田, 浜田, 渋谷, 堀口, 大野: 第8回日本アイソトープ会議報文集, 818~42 (昭43)
- 2) *Isotope News* : No.208, Nov. (1971)
- 3) *Isotope News* : No.207, Oct. (1971)
- 4) 堀口, 岡野, 田伏: 東京都立アイソトープ総合研究所年報, 23~25 (昭42)
- 5) W.S.Lyon, Jr. : Guide to Activation Analysis, D. Van Norstand Company, Inc.
- 6) 新分析化学講座4: 放射化学分析法, 日本分析化学会編, 共立出版
- 7) 日下: *Radioisotopes*, **21**, (4) 40~50 (1972)
- 8) USAEC : Californium-252 Progress No. 1~No. 11
- 9) 小型14MeV 中性子発生装置利用懇談会報告書: 日本原子力産業会議 (昭45)
- 10) 放射化分析: (株)東京原子力産業研究所 PR 資料
- 11) ACTIVAC 技術資料: 東京芝浦電気(株) PR 資料
- 12) 繁田, 有馬: 高速中性子を利用する炉心部の照射, 第6回日本アイソトープ会議報文集; 日本原子力産業会議 (昭41)
- 13) 放射化分析の感度比較表: (株)東京原子力産業研究所 PR 資料
- 14) トレーサ元素の感度と費用: (株)東京原子力産業研究所 PR 資料
- 15) 理工学におけるオートラジオグラフィの最近の研究: *Radioisotopes*, **19**, (1) (1970)