放射能測定法シリーズ　10

放射性ルテニウム分析法

平成８年改訂

文部科学省

放射線審議会測定部会の委員及び専門委員

委員（部会長）	岩島　清	株式会社　環境管理センター
	池田正道	社団法人　日本アイソトープ協会
	岩崎民子	財団法人　放射線影響協会
	田村浩一郎	電子技術総合研究所
	寺尾允男	国立衛生試験所
	中田啓	動力炉・核燃料開発事業団
	備後一義	日本原子力研究所
専門委員	阿部史朗	放射線医学総合研究所
	岡野眞治	財団法人　放射線影響協会
	阪上正信	金沢大学　名誉教授
	戸田誠	海上保安庁水路部
	廣瀬勝己	気象庁気象研究所
	深津弘子	財団法人　日本分析センター
	丸山隆司	財団法人　放射線影響協会
	大和愛司	動力炉・核燃料開発事業団
	吉田勝彦	水産庁中央水産研究所

（敬称略・五十音順）

本分析法の作成にあたっては、上記委員のほか下記の方々の協力を得た。

岩島　清	国立公衆衛生院
上田泰司	放射線医学総合研究所
甲田善生	名古屋工業技術試験所
小柳卓	放射線医学総合研究所
小山包博	神奈川県衛生研究所
寺田喜久雄	金沢大学理学部
大和愛司	動力炉・核燃料開発事業団
森田茂樹	茨城県公害技術センター
西村耕一	財団法人　日本分析センター
樋口英雄	財団法人　日本分析センター
桐田博史	財団法人　日本分析センター

特定物質の規制等によるオゾン層の保護に関する告示により、試薬等の一部を改訂した。本分析法の一部改訂にあたっては、下記委員の方々に協力を得た。

池田長生	社団法人　日本アイソトープ協会
白石文夫	立教大学
杉山広和	岡山県環境保健センター
関根敬一	日本原子力研究所
山崎慎一	農林水産省農業科学技術研究所
山本政儀	金沢大学
渡辺均	動力炉・核燃料開発事業団

（敬称略・五十音順）

目　　次

第1章　序　　論 …… 1

第2章　試　　薬 …… 2

第3章　ガラス器具の洗浄法 …… 7

第4章　海水中の放射性ルテニウムの分析法 …… 9

4.1　第1法　（共沈－蒸留法） …… 9

4.2　第2法　（四塩化炭素抽出法） …… 14

第5章　海産生物（灰）中の放射性ルテニウムの分析法 …… 19

5.1　第1法　（融解－蒸留法） …… 19

5.2　第2法　（硝酸分解－蒸留法） …… 22

第6章　海底堆積物中の放射性ルテニウムの分析法 …… 25

6.1　第1法　（硝酸浸出－蒸留法） …… 25

6.2　第2法　（強リン酸分解－蒸留法） …… 27

第7章　ポリエチレンフイルムを用いる放射性ルテニウムの分析法 …… 30

付録　Ⅰ　^{103}Ruの分析法 …… 33

付録　Ⅱ　分析結果報告書例 …… 37

第1章　序　　論

本マニュアルは，原子力施設から排出される放射性核種のうち核分裂生成物の代表的核種である放射性ルテニウムの分析測定法について定めたものである。原子力施設から排出される放射性ルテニウムは主として排水と一緒に海域に排出されるため，本マニュアルでは海水，海産生物および海底堆積物の環境試料を対象とした。

本マニュアルでは放射性ルテニウムとして重要な ^{106}Ru の測定が主目的で，ルテニウムを分離した後，娘核種の ^{106}Rh のβ線を測定して定量する。

本マニュアルでは，必要とされる分析目標レベルと試料量に応じて適用の選択ができるように2方法を示してある。

(1) 海水については，ルテニウムを水酸化マグネシウム共沈－蒸留または四塩化炭素抽出により分離した後，還元してルテニウムを沈殿させ，測定する。

(2) 海産生物については，灰化後，アルカリ融解－蒸留または硝酸浸出－蒸留して分離した後，還元してルテニウムを沈殿させ，測定する。

(3) 海底堆積物は硝酸処理，または強リン酸処理－蒸留分離した後，還元してルテニウムを沈殿させ，測定する。

(4) 硫化コバルト共沈法によって予備濃縮した放射性ルテニウムをポリエチレンフイルムに固着し測定する簡易測定法を参考として記載した。

上記に示した分析法は，用いるガスフロー型低バックグラウンド計数装置の計数効率，バックグラウンド測定時間により検出可能レベルは多少異なるが，計数効率５０％　測定時間６０分，バックグラウンド１cpm　とし，全計測値が計数誤差の３σ以上の場合はおおよそ下記のようである。

試　料	分　析　法	試料量	分析目標レベル
海　　水	第１法（共沈－蒸留法）	２０l	0.05pCi／l
	第２法（四塩化炭素抽出法）	1.5 l	0.6pCi／l
海産生物（灰　分）	第１法（融解－蒸留法）	１０g	0.1pCi／g （灰分）
	第２法（硝酸浸出－蒸留法）	１０～２０g	0.1～0.05pCi／g （灰分）
海底堆積物	第１法（硝酸浸出－蒸留法）	５０g	20pCi／kg
	第２法（強リン酸分解－蒸留法）	１～５g	1,000～200pCi／kg

第2章　試　　薬

本マニュアルに記載された方法にしたがって分析をおこなう場合に必要な試薬と，その作り方を示す。

本文中の重量ならびに容量の数字は，単に処方の割合を示すものである。したがって調製にあたっては，必要量に応じて適宜増減する。

また，試薬はＪＩＳ試薬の最上級品位のものを，ＪＩＳに規定されていないものについてはできるだけ化学的純度の高いものを用いる。

なお，各試薬の化学名の次のカッコ内の数字は，その試薬の濃度を示す。

1. 固　体　試　薬

水酸化カリウム

炭酸カリウム

ペルオキソ二硫酸カリウム＜過硫酸カリウム＞

亜硫酸水素カリウム

二クロム酸カリウム＜重クロム酸カリウム＞

ヨウ素酸カリウム

過ヨウ素酸カリウム

塩素酸カリウム

過マンガン酸カリウム

金属マグネシウム（粉末）

2. 担　体　溶　液

ルテニウム溶液（５mg　Ru(Ⅲ,Ⅳ)／ml）：三塩化ルテニウムn水和物１gを２００ml コニカルビーカにとり。塩酸（１＋１１）４０ml に溶解する。水酸化ナトリウム５gを加え溶解した後，ペルオキソ二硫酸カリウム３gを加え，時計ざらでふたをし，熱板上で３０分間煮沸する。放冷後，エタノール５ml を加え，水浴上で３０分間加温して沈殿を熟成する。遠沈管に移し，３分間遠心分離する。上澄み液は捨てる。熱湯３０ml を加え，よくかきまぜた後，遠心分離し，上澄み液を捨てる。沈殿に塩酸（１＋１）５～７ml を加え，加熱して溶かす。水を加えて全容を約８０ml とする。この溶液１ml はルテニウム約５mg を含む。

この溶液のルテニウム濃度はつぎの方法により決定する。正しく２ml を三角フラスコ（１００ml）にとり，塩酸（１＋１１）５０ml を加え薄める。これを水浴上で加熱しながら金属マグネ

シウム（粉末）約1gを少量ずつ注意して加えて金属ルテニウムに還元する。加熱中発泡によるルテニウムの損失を防ぐため，小型の時計ざらをフラスコの口にのせる。溶液の色が褐色から青を経て黒い沈殿が生成する。マグネシウムとの反応が穏かになり，過剰マグネシウムが残るようになったら，少量の塩酸（1＋1）をフラスコの内壁に付着しているマグネシウムを洗い落すように加えて完全に溶かす。このとき溶液に淡い青が残っているときは，ルテニウムが還元されないで残っているためで，さらに少量のマグネシウムを加え加熱して完全にルテニウムを析出させ，残ったマグネシウムは上記と同じく処理して溶解する。

沈殿はあらかじめ重量を量ったガラスファイバろ紙（東洋ろ紙GB－100または相当品）で分離型フィルタを用いろ別し，沈殿は塩酸（1＋1），水で洗浄した後，ろ紙ごと真空デシケータ中で乾燥して，その重量を量り，ルテニウム量を求める

ルテニウム溶液（1mgRu(Ⅲ,Ⅳ)／ml）：　ルテニウム溶液（5mgRu／ml）20ml に塩酸（1＋120）を加えて全容を100mlとする。この溶液1mlはルテニウム約1mg を含む。

ジルコニウム溶液（10mg Zr^{4+}／ml）：　酸化二塩化ジルコニウム(Ⅳ)八水和物3.54gをとり塩酸（1＋11）20ml に溶かし，水で薄めて全容を100ml にする。この溶液1mlはジルコニウム約10mgを含む。

セリウム溶液（10mg Ce^{3+}／ml）：　市販の硝酸セリウムには，トリウムおよびその娘核種が含まれているので，これらを次の操作で，あらかじめ除いておく。

(1) 硝酸セリウムn水和物（n＝4～6）20gに水3.5ml を加えて飽和溶液を作り，これを200ml 分液漏斗（A）に移す。

(2) 分液漏斗（A）にTBP－トルエン溶液（50v／v%）70ml を加えて15分間激しく振り混ぜた後，水層を200ml 分液漏斗（B）に移す。

(3) TBP－トルエン溶液（50v／v%）70ml を分液漏斗（B）に加えて15分間振り混ぜ，水層を捨てる。分液漏斗（B）の有機層を分液漏斗（A）に移し，硝酸（5＋4）30ml を加えて，2分間振り混ぜた後，水層を100ml 分液漏斗（C）に移す。

(4) あらかじめ硝酸（5＋4）と平衡にしたTBP－トルエン溶液（50v／v%）30ml を分液漏斗（C）に加えて2分間振り混ぜる。水層を100ml 分液漏斗（D）にとり，ベンゼン15ml を加えて1分間振り混ぜ洗浄する。

(5) 水層を200ml ビーカにとり，水酸化セリウムの沈殿が生成するまでアンモニア水を加え，さらに30%過酸化水素水1ml を加えて水浴上で10分間加熱，沈殿を熟成させる。

(6) 放冷後，上澄み液と沈殿を100ml 遠沈管に入れ遠心分離し，上澄み液を捨てる。

(7) 沈殿に硝酸（5＋4）20ml を加えて溶かし，水を加えて全容を約500ml とする。この溶液1ml はセリウム約10mgを含む。

（この溶液中のセリウム濃度は，シュウ酸セリウムとして沈殿させた後，強熱して酸化セリウム（CeO_2）としその重量をはかり求める。）

コバルト溶液（１０mgCo^{2+}／ml）　：　塩化コバルト・６水和物4.０４ｇを塩酸（1＋120）に溶かして全容を１００mlにする。

ランタン溶液（１０mgLa^{3+}／ml）　：　硝酸ランタン６水和物7.８ｇをとり硝酸（1＋140）に溶かして全容を２５０mlにする。

3. 放射能標準溶液

^{106}Ru標準溶液（５００～１０００dpm／ml）：　既知量の^{106}Ruを含む溶液を薄めて作る。例えば$^{106}RuCl_3$〔2.22×10^5 dpm／ｇ溶液，塩酸（１＋１１）溶液〕[1]）を塩酸（１＋１１）で薄めて調製する。

4. 酸

塩　酸

塩　酸（１＋１）：水１容に塩酸１容を加える。

塩　酸（１＋３）：水３容に塩酸１容を加える。

塩　酸（１＋11）：水２容に塩酸（１＋３）１容を加える。

硝　酸

硝　酸（５＋４）：水４容に硝酸５容を加える。

硝　酸（２＋３）：水３容に硝酸２容を加える。

硫　酸：９５.０％以上（約１８Ｍ）

硫　酸（１＋２）：水２容に硫酸１容をかき混ぜながら少しずつ加える。

硫　酸（１＋35）：水３５容に硫酸１容をかき混ぜながら少しずつ加える。

リン酸

強リン酸：リン酸約３００ml を図１に示すように５００ml のコニカルビーカまたは首の短いフラスコにとり，５００W電熱器上で加熱し，同時にアスピレータで液面に発生してくる水蒸気を急速に吸引し除去する。フラスコの口は開放し，常圧で濃縮を行う。加熱中１７０～１８０℃に達すると沸騰し始め，次第に白煙を生ずるが，これも吸引し除去する。温度計は３６０℃目盛りのものを硬質ガラスの保護管（C）[2]）に入れて，リン酸中に浸しておく。３０～５０分の間に２９５～

1）　日本アイソトープ協会（〒１１３，東京都文京区本駒込２丁目２８番４５号）より頒布されている。

2）　底に少量のシリコンオイルを入れておくとよい。

３００℃に達したら，加熱をやめて，吸引を続けながら放冷し，そのままシリカゲルを入れたデシケータまたは有帽ビン（図２）に入れて保存する。

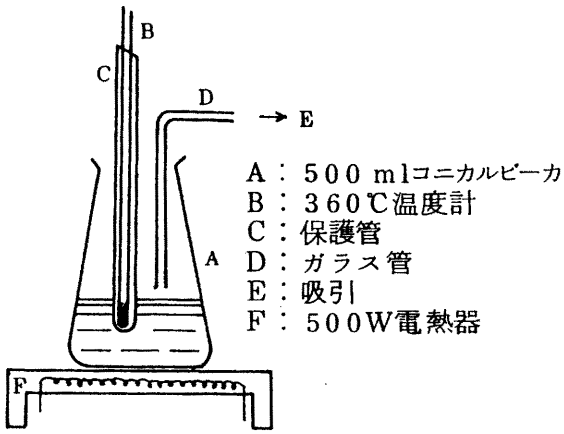


図１　強リン酸の製法

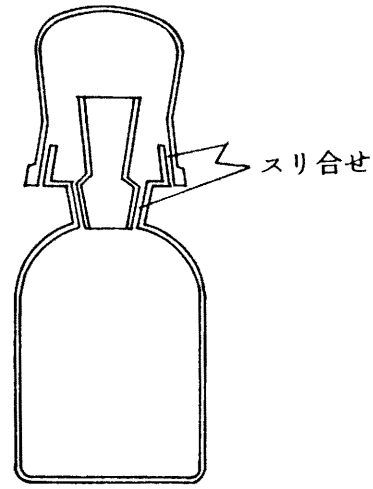


図２　有帽ビン

5. アルカリ溶液

水酸化ナトリウム溶液（４０w／v％）：水酸化ナトリウム１００ｇを水に溶かして２５０ml とする。

水酸化ナトリウム溶液（２４w／v％）：水酸化ナトリウム６０ｇを水に溶かし２５０ml とする。

アンモニア水

アンモニア水（１＋１）：水１容にアンモニア水１容を加える。

6. 塩類溶液

次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素：８％）

次亜塩素酸ナトリウム溶液（２％）：水３容に次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素：８％）１容を加える。

過ヨウ素酸カリウム－水酸化カリウム溶液：水酸化カリウム２５ｇおよび過ヨウ素酸カリウム５０ｇを水に溶かし，全量を５００ml にする。

フッ化水素アンモニウム溶液（１０w／v％）：フッ化水素アンモニウム４５０ｇを水に溶かし4.5ℓとする。細口ポリエチレンびんに保存する。

ＴＢＰ－トルエン溶液（５０v／v％）：リン酸トリブチル２５０ml をトルエンで薄めて５００ml とする。

7. そ の 他

エタノール

四塩化炭素：四塩化炭素３０ml を過ヨウ素酸カリウム２gとペルオキソ二硫酸カリウム４gを含む水溶液３００ml と振りまぜ洗浄しておく。

ベンゼン

過酸化水素水

ポリエチレンフイルム：ＪＩＳ，Ｚ１７０２，１種，密度0.925 g／cm^3 以下

チオアセトアミド溶液（4w／v%）：チオアセトアミド２０gを水に溶かして５００ml とし，ろ紙（５Ｃ）でろ過する。

第3章　ガラス器具の洗浄法

ルテニウム化合物を取り扱うガラス器具は，あらかじめフッ化水素アンモニウム溶液（10w／v%）に浸漬して，表面に強固に付着している有機性ならびに一部の無機性の汚染物をガラス表面とともに溶解して洗浄する。

この方法によって洗浄したガラス器具は，高原子価のルテニウム化合物を数時間取り扱っても，その一部が器壁に付着して失なわれることはない。[1)]

この方法は軟質のガラス器具には適用できない。

3.1　試薬および装置，器具

塩類　フッ化水素アンモニウム溶液（10w／v%）

器具　細口びん（ポリエチレン製，5 l ）

ビーカ（ポリエチレン製，5 l ）

水切り（プラスチック製）

3.2　洗浄操作

(1)　ガラス器具を通常の方法[2)]で洗浄する。

(2)　ポリエチレン製ビーカと水切りは中性洗剤をつけた綿布で，表面を傷つけないように注意してこすりながら洗い，ついで十分に水洗する。

(3)　吸水性の紙を敷いた上にポリエチレン製ビーカを置き，これに(2)で洗浄したガラス器具を入れ，フッ化水素アンモニウム溶液を器具が完全に覆われるまで注ぎ，器具中に残った気泡をビーカを傾けて追い出し，10～60分間[3)]放置する。

1）　高原子価のルテニウム化合物は，ガラス壁上の，主として有機性の汚染物質により還元されて，黒色の酸化ルテニウムないし金属ルテニウムの微粒子になって沈着し，失なわれることが多い。

2）　なるべくフッ化水素アンモニウム溶液を汚さないためであるが，鉄の酸化物などはこの溶液ではとれにくいため，あらかじめ硫酸（1＋2）や塩酸（1＋1）などに浸漬し，除去しておくことが望ましい。

クレンザーの使用はいけない。また洗浄ブラシの金属部分が直接ガラス面に触れないように注意する。

なお，すべての操作に清潔を必要とするため，操作開始時に周囲を清拭し，手指を石けんでよく洗っておく。

3）　フッ化水素アンモニウム溶液はガラスを浸蝕するので，必要以上に長時間浸漬しないこと。

浸漬時間はガラス器具の汚染の程度によって変える必要があるが，一般に始めて浸漬する器具は長めにし，2回目からは短時間でよい。とくにすり合せ部分の浸漬は短時間に止める。

(4) 放置後，フッ化水素アンモニウム溶液の大部分をもとのポリエチレン製細口びんにもどし，ガラス器具を取り出して，毎回水切りをしながら純水で3回洗浄する。[4)]

(5) ルテニウム化合物が直接触れるガラス面には，洗浄後，手を触れない[5)]ようにする。

(6) 洗浄後は手や顔や周囲のものをよく水洗し，清拭する。

この方法で洗ったガラス面が一様に水切れしない場合や，ルテニウム化合物によって黒色の沈着物を少しでも生じる場合には，洗浄が不充分であることを示すので，ブラシ洗いなど機械的な洗浄を充分に行い，ついで上記の洗浄操作を繰り返す。

---

4) ガラス表面にこん跡量残留するフッ化物イオンをさらに減らす必要がある場合や，器具をすぐ使用しない場合には，清浄な器に水を入れ，この中に洗った器具を沈めておく方法が有効である。

5) やむを得ない場合には石けんでよく洗った手で最少限触れる程度なら支障は起こらない。

第4章　海水中の放射性ルテニウムの分析法

4.1　第1法（共沈一蒸留法）

海水中の放射性ルテニウムを担体とともに水酸化マグネシウムと共沈させ，沈殿物は硝酸に溶解した後，蒸留してルテニウムを分離する。分離したルテニウムはエタノールでルテニウム酸化物を沈殿させてマウントする。アルミニウム吸収板で ^{106}Ruの娘核種の ^{106}Rhのβ線を選別して 計測し，^{106}Ruを定量する方法である。

この方法は試料20 l を用いた場合 ^{106}Ru約0.05 pCi／l が定量できる。

4.1.1　試薬および装置，器具

担体溶液	ルテニウム溶液（5 mg Ru／ml）
標準溶液	^{106}Ru標準溶液（500 dpm ^{106}Ru／ml）
酸	硝　酸
アルカリ	水酸化ナトリウム溶液（40w／v%），（24w／v%）
塩類溶液	次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素8%）
	過ヨウ素酸カリウム一水酸化カリウム混合溶液
塩　類	亜硫酸水素ナトリウム，過マンガン酸カリウム
その他	エタノール，ドライアイス
装　置	ガスフロー型低バックグラウンド計数装置
	遠心分離器
	光電光度計または光電分光光度計
器　具	蒸留器（図3），マントルヒータ，投込みヒータ，スライダック，大型ほうろうタンクまたはポリ塩化ビニール製タンク，ビーカ
	アルミニウム吸収板（40～50 mg／cm^2）

4.1.2　分析操作

(1) 試料の採水時に海水1 l につき硝酸10 mlを加える[1]。

(2) 試料を大型ほうろうタンクまたはポリ塩化ビニール製タンクに移し入れ，ルテニウム担体溶液（5 mg Ru／mℓ）2 mℓを加えてよくかきまぜる。

(3) 水酸化ナトリウム溶液（40w／v%）を加えてpH 9.0 ± 0.1に調整したのち，水酸化ナトリウム溶液（24w／v%）20 mlを加えながらよくかきまぜる。

(4) 次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素8%）20 ml を加えて，かき混ぜたのち，20分間

1）^{106}Ruが器壁に吸着するのを防ぐためである。

放置する。

(5) 亜硫酸水素ナトリウム4gを加え，よくかき混ぜたのち投込みヒータを用いて約70℃まで加熱し，放置して沈殿を沈降させる。

(6) サイフォンで上澄み液を除き，スラリを遠心分離して沈殿を集める。

(7) 集めた沈殿を硝酸10ml で溶かし[2]，蒸留フラスコ（図3）に移し，遠沈管は硝酸10mlで洗浄し，洗液も蒸留フラスコに入れ，蒸留器は図3のように組みたてる。

(8) 水酸化ナトリウム溶液（24w/v%）30ml を遠沈管（50ml）に入れ，ドライアイスーエタノール浴で－5～5℃に冷却して吸収液とする[3]。

(9) 吸収液が十分冷却された後，過マンガン酸カリウム5gを蒸留フラスコに静かに少量ずつ加える。

(10) 50～70ml/min.の割合で蒸留フラスコに空気を送入する。

(11) マントルヒータに通電し，蒸留フラスコ内の液温を100～105℃に保つようにスタイダック電圧を調整する。

(12) 100～105℃で30分間蒸留したのち電源を切り，そのまま，さらに5分間蒸留を続ける。

(13) 蒸留後，ガス導出管を吸収液より引上げ先端を水で洗浄する。

(14) 吸収液をメスフラスコ（50ml）に移し，遠沈管を水で洗浄し，洗液もメスフラスコに加え，水を標線まで加える。

(15) この溶液から，4.1.5に従い化学収率を求めるため，正確に5ml を分取し，別のメスフラスコ（50ml）に入れる。

(16) 残った溶液は4.1.3に従い測定試料の調製に用いる。

4.1.3 測定試料の調製法

(1) 4.1.2(16)の残りの溶液をビーカ（100ml ）に移し入れ，メスフラスコは水で洗浄して洗液もビーカに加える。

(2) エタノール2～3ml を加え熱板上で約30分間加熱して，ルテニウム酸化物を沈殿，熟成させる。さらに加熱を続け煮沸してエタノールを揮散させる。

(3) 放冷後，分離型フィルタを用い5種Cのろ紙をセットし沈殿を吸引ろ過し，水10ml ずつで5回洗浄する。ついでエタノール5ml で洗浄する。

(4) 沈殿はろ紙ごとシリカゲルを入れたデシケータまたは真空デシケータに入れ，乾燥させる。

2） 硝酸10mlで溶けない場合には，用いる硝酸の量を多くしてもよい。

3） 吸収液を蒸留中－5℃～5℃に保つようにドライアイスの小塊を加える。

(5) 沈殿をろ紙ごとマイラで包み，試料ざらにはりつける[4]。

4.1.4 測　定

4.1.3で調製した測定試料をガスフロー型低バックグラウンド計数装置を用いて^{106}Ruと放射平衡にある娘核種^{106}Rhのβ線をアルミニウム吸収板を用いて選別して以下の順序に従って測定する。

(1) 使用機器の名称，型式，試料の形などを記録する。

(2) 適当なチェック用線源を用いて，計数装置の動作が正常か否かを確かめる。

(3) バックグラウンドを約2時間測定する[5]。このとき40～50mg／cm^{2}のアルミニウム吸収板をそう入した状態で測定する。

(4) デシケータ中で乾燥した試料をろ紙ごと測定容器に移し入れ，40～50mg／cm^{2}アルミニウム吸収板をのせて，1時間測定する。

(5) 一連の測定の最後に再びバックグラウンドを測定し，最初のバックグラウンド計数値との平均値を計算に用いる。

(6) 試料の計数値からバックグラウンド計数値を差し引き，正味の計数値（cpm）および標準偏差を求める。

4.1.5 化学収率の求め方

(1) 4.1.2分析操作(15)でメスフラスコ（50ml）中の溶液から正しく5mlを分取し，メスフラスコ（50ml）に入れ，さらに水を加えて液量を約30mlとする。

(2) これに過ヨウ素酸カリウム－水酸化カリウム混合液5mlを加え振り混ぜた後，水を標線まで加えて再び振り混ぜる。

(3) この溶液の一部を吸収セル（10mm）にとり，水を対照として波長400nmで吸光度を測定し，あらかじめ(4)で作成した検量線[6]からルテニウム量（x mg）を求め，次式により化学収率を求める。

4） 沈殿をコロジオンで固定してもよい。

5） 使用するルテニウム担体が放射性不純物を含む場合があるので，4.1.3の操作を行って空試験試料とする。

6） 検量線で直線関係が認められたときは，その都度検量線を作成する必要はなく，(4)で担体溶液2mlを50mlに薄めた溶液中から5mlをメスフラスコ（50ml）に分取し，水酸化ナトリウム溶液（24w／v%）3mlと水を加えて液量を約30mlとした後，(1)(2)に従って吸光度を求め，この吸光度を化学収率100%として(3)の吸光度から化学収率を求めてもよい。

$$化学収率(\%) = \frac{x \times 100}{10 \times 5/50}$$

(4) ルテニウム担体溶液(5 mg Ru/ml)2 mlを正しくメスフラスコ(50 ml)中に分取し，水を標線まで加え振り混ぜる。この溶液中から1.0 ml，2.0 ml，4.0 ml，8.0 mlを正しくメスフラスコ(50 ml)中にそれぞれ分取し，水酸化ナトリウム溶液(24 w/v%)3 mlとした後(2)(3)に従ってそれぞれ吸光度を求める。吸光度とルテニウム量との関係線を作成して検量線とする。検量線の作成は用いる担体，試薬など同一なものを用いるときは毎回の実験にあたり作成する必要はない。

4.1.6 計数効率の求め方

(1) ルテニウム担体溶液(5 mg Ru/ml)1.0，2.0，3.0 mlをビーカ(100ml)に正しくとり，水で約10mlに薄め，これに ^{106}Ru 標準溶液の一定量(約500～1000 dpm)を加える。

(2) 水酸化ナトリウム溶液(40w/v%)を黒色沈殿が生成するまで加え，さらに10 ml を過剰に加える。

(3) ペルオキソ二硫酸カリウム0.2 g を加え，振り混ぜ溶かす。時計ざらでおおい，加熱して酸化するとともに，細かい気泡が発生しなくなるまで加熱を続けてペルオキソ二硫酸を分解する。

(4) 水10～15 ml を加え，さらにエタノール2～3 ml を加えて水浴上で加熱してルテニウム酸化物を沈殿させ熟成した後，放冷する。

(5) ろ紙(5種C)を分離型フイルタにセットし，沈殿を吸引ろ別し，冷水で洗浄し，ついでエタノール5 mlで洗浄する。

沈殿はろ紙ごとシリカゲルを入れたデシケータ，または真空デシケータ中に入れ乾燥する[7]。

(6) 4.1.4測定に従ってそれぞれの計数率(cpm)を求め，次式によって計数効率を求める。

$$E(\%) = \frac{C}{A} \times 100$$

ここで　E：計数効率

C：標準溶液の計数率(cpm)

A：標準溶液 ^{106}Ru の壊変率(dpm)

(7) それぞれの計数効率を縦軸に，ルテニウム担体量を横軸にとり，計数効率とルテニウム担体量との関係線を求める。

この計数効率を求める実験は数回繰り返し，それぞれの平均値を求めて採用する。

---

7) このさいの化学収率は90%以上で，計測にあたり，沈澱量の変動は無視できる。計数効率はルテニウム担体溶液(5 mg Ru/ml)2 ml について求めておけばよい。

4.1.7　計　　算

海水中の ^{106}Ru の濃度（ pCi／l ）を次式に従って計算する。

$$a=\left[\left(\frac{Ns}{Ts}-\frac{Nb}{Tb}\right)\pm\sqrt{\frac{Ns}{Ts^2}+\frac{Nb}{Tb^2}}\right]\times\frac{100}{E}\times\frac{100}{Y}\times\frac{1}{W}\times\frac{1}{2.22}$$

$$\times\frac{1}{e^{-\frac{0.693}{368}t}}\times\frac{50}{45}$$

ここで　a　：　海水中の ^{106}Ru 濃度（pCi／l ）

Ns　：　試料の全計数値

Ts　：　試料の測定時間（分）

Nb　：　バックグラウンド計数値

Tb　：　バックグラウンドの測定時間（分）

E　：　計数効率（％）

Y　：　化学収率（％）

W　：　試料量（ l ）

t　：　試料採取から測定までの時間（日）

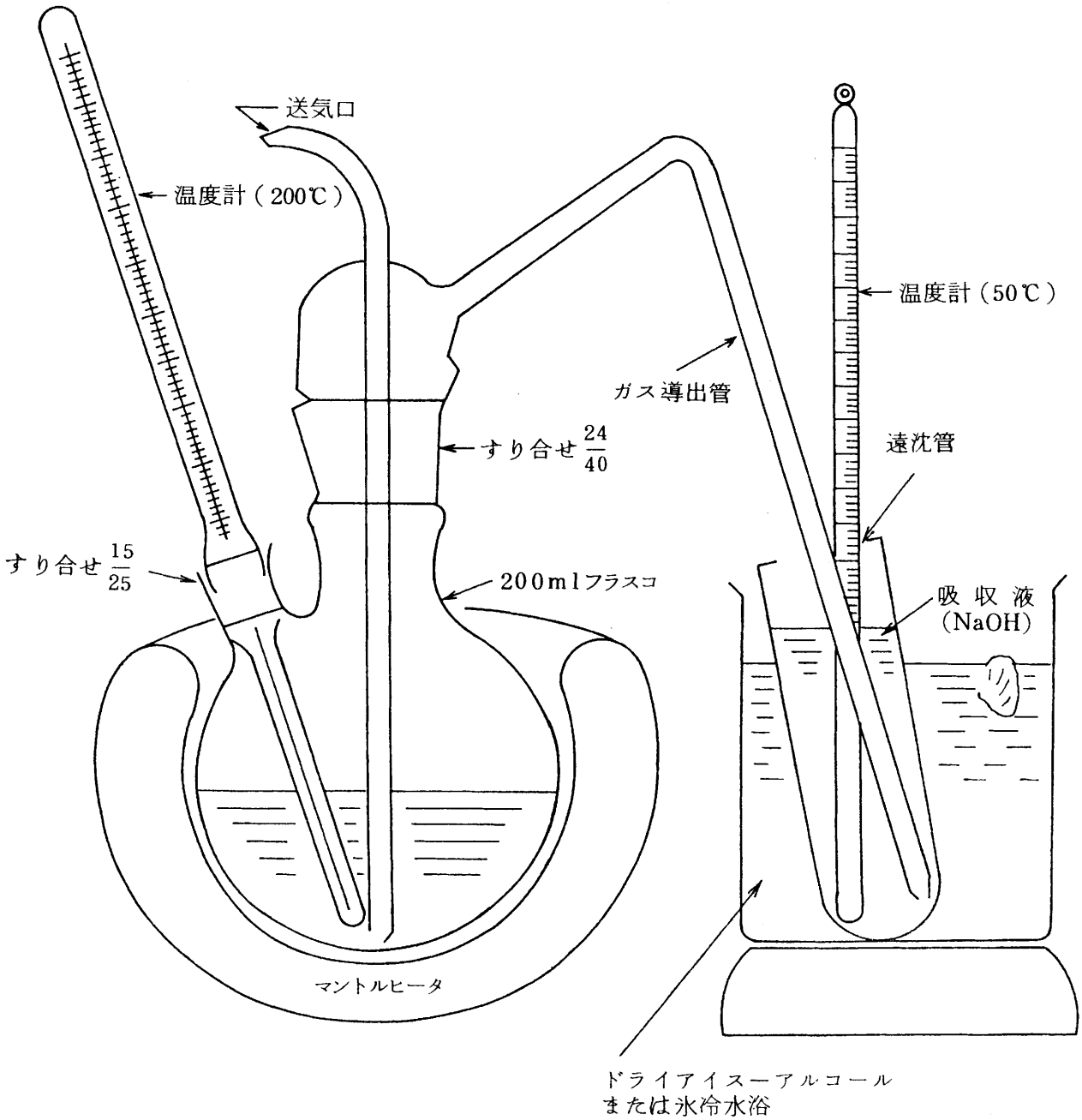


図３　蒸留装置の一例

4.2　第２法（四塩化炭素抽出法）

海水にルテニウムの担体を加え，塩基性ルテニウムを酸化し，硝酸で微酸性にしたのち，四塩化炭素で四酸化ルテニウムを抽出分離する。抽出したルテニウムを亜硫酸を含む塩酸で逆抽出し，マグネシウム粉末により還元して金属ルテニウムとして沈殿させマウントする。沈殿の重量を量り，加えた担体の化学収率を求め，引続きアルミニウム吸収板を用いβ線を選別して計測し ^{106}Ru を定量する方法である。

この方法は試料 1.5 l を用いた場合 ^{106}Ru 約 0.6 pCi／l が定量できる。

4.2.1　試薬および装置，器具

担体溶液　　ルテニウム溶液（5mgRu／ml）

標準溶液　^{106}Ru標準溶液（５００dpm／ml）

酸　硝酸（２＋３），塩酸（１＋１），（１＋１１）

塩　類　過ヨウ素酸カリウム，水酸化カリウム，ペルオキソ二硫酸カリウム，亜硫酸水素カリウム

その他　金属マグネシウム（粉末），エタノール，四塩化炭素[8]）

装　置　ガスフロー型低バックグラウンド計数装置，電気水浴

器具類　平底フラスコ（２l，図４），分液漏斗（１l），分離型フィルタ，三角フラスコ（３００ml，１００ml），小型時計ざら，ろ紙（５種Cφ２４mm）

4.2.2　分析操作

(1) 採水時に海水１lにつき硝酸１０ml を加えた試料1.5lを平底フラスコ（２l）にとり，ルテニウム担体溶液（５mg Ru／ml）を正確に２ml加える。

(2) 水酸化カリウム３０g，ペルオキソ二硫酸カリウム２０g，および過ヨウ素酸カリウム１０gを加え，よく振りまぜる。

(3) フラスコ頸部に冷却管を差しこみ，頸部外側に巻いたポリエチレン管を通して（図４）冷却しながら[9]），９０～１００℃の水浴中で２～2.5時間加熱する。

(4) 加熱酸化後フラスコを流水で室温まで冷却し，硝酸（２＋３）約５５ml を加えて溶液のpH を４～６に調節する[10]）。

(5) 溶液を２本の分液漏斗（１l）に半量ずつに分けて移し入れ，それぞれに四塩化炭素100mlずつを加えて５分間振りまぜ，ルテニウムを抽出する。

(6) 有機層を別の分液漏斗（１l）に移し，水層の入った分液漏斗にそれぞれ５０ml の四塩化炭素を加えて５分間抽出を繰り返す。有機層はすべて第三の分液漏斗に合せ，水層は捨てる。

(7) 有機層の入った分液漏斗に塩酸（１＋１）１５ml と亜硫酸水素ナトリウム４０mg を加え，５分間振りまぜてルテニウムを逆抽出する。有機層を別の分液漏斗（１l）に移し，水層を三角フラスコに移す。

(8) この有機層に塩酸（１＋１）１５ml ，亜硫酸水素ナトリウム４０mg ，およびエタノール１０ml を加えて再び逆抽出を行う。有機層を貯蔵びんに捨てる[11]）。水層を(7)の三角フラスコに加え合せ，次の4.2.3測定試料の調製法に従ってルテニウムをマウントする。

8）　あらかじめ過ヨウ素酸カリウムとペルオキソ二硫酸カリウムを含む水溶液と振っておく。

9）　加熱中に揮散するルテニウムを捕促する。

10)　白色の水酸化マグネシウムの沈殿が少し残り，僅かに白濁している状態まで硝酸を加えると，pH５前後になる。

11)　使用ずみの四塩化炭素は，水洗後再度使用できる。

4.2.3　測定試料の調製法

(1)　4.2.2(8)の操作が終った三角フラスコ中の溶液に水150mlを加えて塩酸濃度を約1Mにする。フラスコを水浴上で加熱しながら，金属マグネシウム粉末約1gを，少量ずつ[12]，注意深く加えてルテニウムを還元する。加熱中，発泡による溶液の損失を避けるため，フラスコの口に小型の時計ざらをのせておく。

溶液の色は褐色から青に変り，次いで黒い沈殿が生成する。

(2)　マグネシウムとの反応が隠やかになり，マグネシウムの過剰分が残るようになったならば，フラスコ内壁に付着しているマグネシウムを洗い落すようにして，少量の塩酸（1＋1）を加え，マグネシウムを完全に溶かす。この時溶液に淡い青が残っていれば，さらに少量のマグネシウムを加えて加熱を続ける。最後に，残っているマグネシウムを上と同様にして完全に溶かす。

(3)　沈殿は分離型フィルタを用いて，あらかじめ乾燥し，重量を量ってあるろ紙でろ過する。沈殿を塩酸（1＋1），水，エタノールの順に十分に洗浄する。ろ液および洗液は捨てる。

(4)　沈殿をろ紙ごと真空デシケータ中で，室温で1時間乾燥する。重量を量り担体の化学収率を求める[13]。

(5)　沈殿をろ紙ごとマイラで包み，試料ざらにはりつける[14]。

4.2.4　測　　定

4.2.3で得た測定試料を，ガスフロー型低バックグラウンド計数装置を使用して，^{106}Ruと放射平衡にある娘核種の^{106}Rhのβ線を，以下の順序に従って測定する。

(1)　使用機器の名称，型式，試料の形などを記録する。

(2)　適当なチエック用線源を用いて，計数装置の作動が正常か否かを確かめる。

(3)　バックグラウンドを約2時間測定する[15]。（40～50mg／cm^2　アルミニウム吸収板使用）

(4)　試料を2時間測定する。（40～50mg／cm^2　アルミニウム吸収板使用）

(5)　一連の測定の最後に再びバックグラウンドを測定し，最初の値との平均値を採用する。

(6)　試料の計数値からバックグラウンド値を差し引き，正味の計数率（cpm）および標準偏差を求める。

---

12)　一度に耳かき一杯位が適当である。なるべくゆっくり時間をかけて還元を行う方がよい。

13)　使用する金属マグネシウムの適当量を塩酸（1＋11）に溶かして，ろ過，乾燥，ひよう量の操作を行い，重量ブランクを求めて，それをひよう量値から差し引いてルテニウムの回収量とする。

14)　沈殿をコロジオンで固定してもよい。

15)　使用するルテニウム担体が放射性不純物を含む場合があるので，4.2.3の操作を行ってブランク試料とする。

4.2.5　計数効率の求め方

(1)　ルテニウム担体溶液（ 5 mg Ru／ml ）1.0 , 2.0 , 3.0 ml を三角フラスコに正しくとり，ついで^{106}Ru 標準溶液の一定量（ 約1000 dpm ）を加える。

(2)　塩酸１２ml を加え，水で液量を１５０ml に薄め以下 4.2.3 測定試料の調製(1)～(5)に従って測定試料を調製し，4.2.4 測定に従って測定し，以下 4.1.6 計数効率の求め方(5)以下に従い計数効率を求める。

4.2.6　計　　算

海水中の ^{106}Ru 濃度（ pCi／l ）を次式に従って計算する。

$$a = \left[\left(\frac{Ns}{Ts} - \frac{Nb}{Tb} \right) \pm \sqrt{\frac{Ns}{Ts^2} + \frac{Nb}{Tb^2}} \right] \times \frac{100}{E} \times \frac{100}{Y} \times \frac{1}{W} \times \frac{1}{2.22} \times \frac{1}{e^{-\frac{0.693}{368} t}}$$

ここで

a　：　海水中の ^{106}Ru 濃度（ pCi／l ）

Ns　：　試料の全計数値

Ts　：　試料の測定時間（分）

Nb　：　バックグラウンドの計数値

Tb　：　バックグラウンドの測定時間（分）

E　：　計数効率（％）

Y　：　化学収率（％）

W　：　試料量（ l ）

t　：　試料採取から測定までの時間（日）

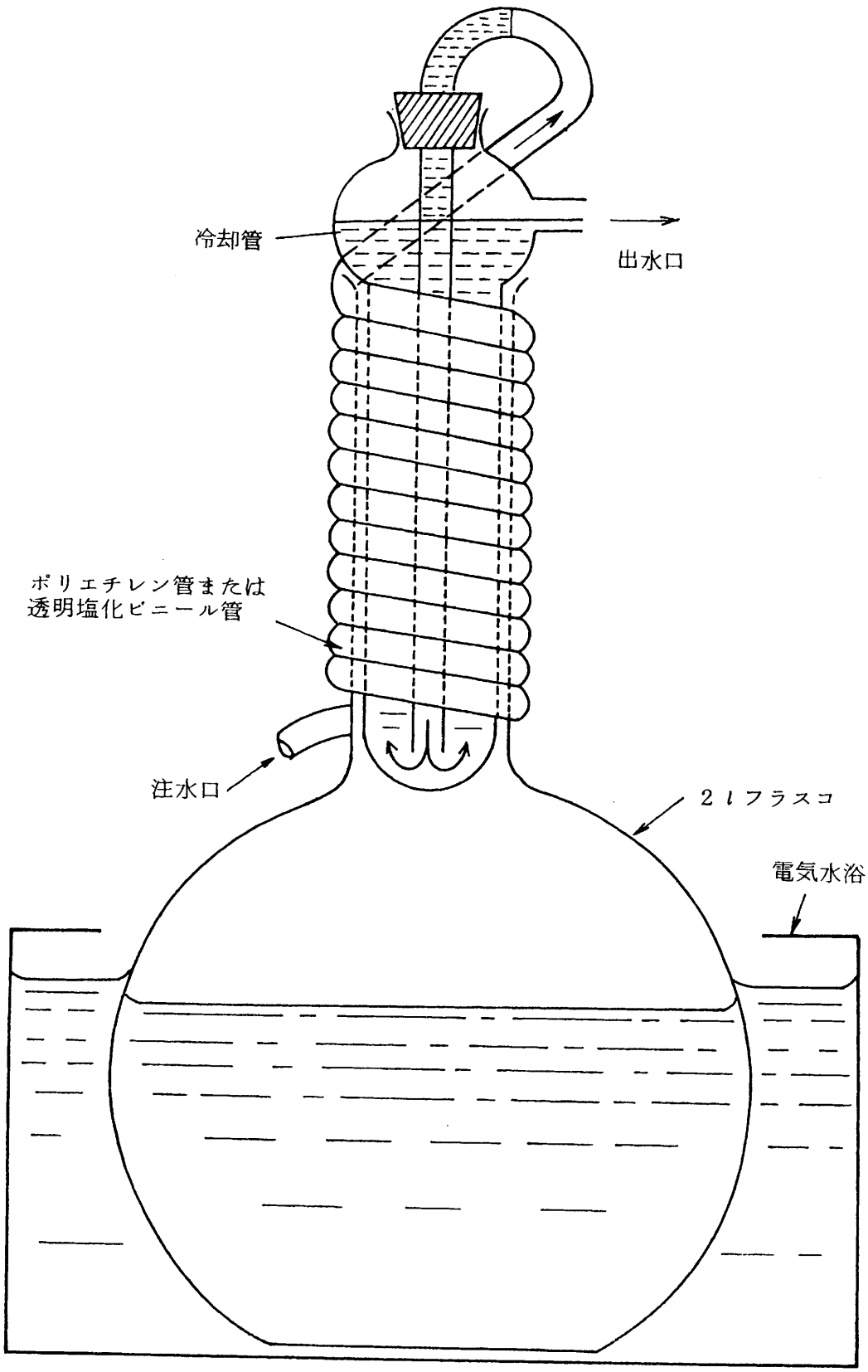


図 4　ルテニウム酸化装置の一例

第５章　海産生物（灰）中の放射性ルテニウム分析法

5.1　第１法（融解法）

この方法では，灰分試料をアルカリ融解し，融成物の水浸出液からルテニウム酸化物を含む区分を分離する。これを酸化蒸留してルテニウムを分離した後，その酸化物沈殿についてアルミニウム吸収板を用いて ^{106}Rh の β 線を選別して計測し，^{106}Ru を定量する。

この方法は試料１０g を用いた場合 ^{106}Ru 約 0.1 pCi／g（灰分）が定量できる。

5.1.1　試薬および装置，器具

担体溶液　ルテニウム溶液（５mgRu／ml）

ジルコニウム溶液（１０mgZr^{4+}／ml）

セリウム溶液（１０mgCe^{3+}／ml）

ランタン溶液（１０mgLa^{3+}／ml）

標準溶液　^{106}Ru 標準溶液（５００～１０００dpm／ml）

酸　硝酸，リン酸

アルカリ　水酸化カリウム

水酸化ナトリウム溶液（24w／v%），（40w／v%）

塩　類　炭酸カリウム，硝酸カリウム

ペルオキソ二硫酸カリウム

過ヨウ素酸カリウム

塩類溶液　次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素８％）

次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素２％）

過ヨウ素酸カリウム－水酸化カリウム溶液

装　置　ガスフロー型低バックグラウンド計数装置

遠心分離器

電気炉

器　具　ステンレスるつぼ（ＪＩＳ　Ｇ　４３０５－１９７２　ＳＵＳ　３０４－ｃｐ）または

ニッケルるつぼ（５００ml）

蒸留フラスコ（図３参照）

ビーカ（１l），メスフラスコ（５ml）

ろ紙（５種Ｃ）

アルミニウム板（４０～５０mg／cm^2）

赤外線ランプ

その他　エタノール

5.1.2　試料の調製

(1) 海藻は葉，茎部を採取し，現場の海水で付着物，砂泥などを洗い落して陸揚し，水道水でざっと洗う。

(2) 試料の一部，1kg 程度を水分定量用に取り分け，タオルなどで水を吸い取って生重量を量り，次に105℃で乾燥して乾燥重量を量る。

残りの試料は腐敗しない程度に風乾して実験室に運び，熱風乾燥，最後に105℃で乾燥して重量を量る。

(3) 魚，貝，甲殻類などは凍結あるいは冷蔵して実験室に運び，必要に応じて部位別に分けて生重量を量った後，海藻に準じて乾燥し，乾燥重量を量る。

シラスなどのように凍結すると解凍した際に魚体が崩れて取り扱い難くなる試料はエタノールなどに漬けて輸送する。ナマコ，底生魚類などの消化管，底生魚のエラなどには泥が多い場合があるので注意して除く。

(4) 乾燥した試料を直径25cm 程度の磁器ざらに入れ，ガスバーナで燃えないように注意しながら，可燃性ガスがほとんど出なくなるまで炭化する。

(5) 450～500℃に調節した電気炉中で灰化し，貝殻などの夾雑物を取り除いて重量を量り，灰分重量とする。

(6) 乳鉢ですりつぶして分析試料とする。必要に応じてふるいにかけて夾雑物を除く。

5.1.3　分析操作

(1) 灰分試料10gを500ml ステンレス鋼またはニッケルるつぼに入れ，融剤（KOH：K_2CO_3 ：KNO_3 ＝2：1：1）150～200gを加えてよくかき混ぜる。

これにルテニウム担体溶液（5mg Ru/ml）2ml ，保持担体としてジルコニウムとセリウムの担体溶液（10mg Zr^{4+}/ml，10mg Ce^{3+}/ml）をそれぞれ1ml（Zr，Ce 10mg）ずつ加えてかき混ぜた後，赤外ランプで乾燥する。これを約400℃の電気炉に入れて徐々に約1時間かけて600℃に温度をあげる。るつぼの内容物が十分融解していることを確め，その状態で約1時間保つ。

(2) 放冷後，融成物に水を加えて加熱，浸出を繰り返し，不溶物を含めて全内容物をビーカ（1 l ）に移す。浸出液の液量は800ml程度とする。

(3) 次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素8％）50ml を加え，80℃前後に保ちながら30分間かき混ぜる。

(4) 放冷後，遠心分離して上澄み液をビーカ（1 l ）に移す。残留物は次亜塩素酸ナトリウム溶液（有効塩素2％）で洗浄して，その上澄みは前の上澄み液に合せる。

洗浄した残留物は捨てる。

(5) 上澄み液にランタン担体溶液（１０mgLa^{3+}／ｍｌ）１ｍｌおよびエタノール５０ｍｌを加え，水浴上で３０分間加熱してルテニウム酸化物を沈殿，熟成させる。

(6) 遠心分離して沈殿を遠沈管（５０ｍｌ）に集め，上澄み液は捨てる。

沈殿はさらに水３０ｍｌを加え洗浄し，遠心分離して上澄み液は捨てる。遠沈管に残ったルテニウム酸化物を水３０ｍｌ，次に硝酸数ｍｌを用い数回にわたって蒸留フラスコ（図３参照）に洗い込み，液量を約５０ｍｌにする。

(7) 水酸化ナトリウム溶液（24w／v%）３０ｍｌを遠沈管（50ml）にとり，ドライアイスーエタノール浴で－5°～5℃に冷却して吸収液とする。

(8) 蒸留フラスコにリン酸２ｍｌを加え，液温５０℃以下で過ヨウ素酸カリウム５ｇ，ペルオキソ二硫酸カリウム５ｇを加え，ついで空気を５０～７０ｍｌ／ｍｉｎ．の割合で送り，加熱して蒸留フラスコの液温を１００～１０５℃に保って３０分間通気蒸留する[1]。

留出管の先端を吸収液の液面からはずし，加熱を止めて，さらに５分間蒸留する。

(9) 吸収液をメスフラスコ（50ml）に水で洗い移し，標線まで水を加える。

(10) メスフラスコ（50ml）中の溶液から５ｍｌを正しくメスフラスコ（50ml）に分取し，これを用いて化学収率を求める。

(11) メスフラスコ（50ml）の残留ルテニウム溶液４５ｍｌを，少量の水を用いてビーカ（１００ｍｌ）に洗い移す。

5.1.4 測定試料の調製法

5.1.3(11)の溶液を第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.3測定試料の調製法に従って操作して，測定試料を調製する。

5.1.5 測　　定

5.1.4で調製した測定試料を第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.4に従って測定する。

5.1.6 化学収率の求め方

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.5化学収率の求め方に従って求める。

5.1.7 計数効率の求め方

4.1.6計数効率の求め方に従って求める。

5.1.8 計　　算

灰中の^{106}Ruの濃度（pCi／ｇ）を次式に従って計算する。

1） 液温を上げ過ぎるとヨウ素が留出し，化学収率を求める操作で比色に影響することがあるので注意する。

$$a = \left[\left(\frac{Ns}{Ts} - \frac{Nb}{Tb} \right) \pm \sqrt{\frac{Ns}{Ts^2} + \frac{Nb}{Tb^2}} \right] \times \frac{100}{E} \times \frac{100}{Y} \times \frac{1}{W}$$

$$\times \frac{1}{2.22} \times \frac{1}{e^{-\frac{0.693}{368} t}} \times \frac{50}{45}$$

ここで

a　：　灰中の ^{106}Ru 濃度（pCi／g）

Ns　：　試料の全計数値

Ts　：　試料の測定時間（分）

Nb　：　バックグラウンドの計数値

Tb　：　バックグラウンドの測定時間（分）

E　：　計数効率（％）

Y　：　化学収率（％）

W　：　試料量（g）

t　：　試料採取から測定までの時間（日）

5.2　第２法（硝酸分解法）

海産生物灰を硝酸に溶解し，蒸留によりルテニウムを分離したのち，エタノールでルテニウム酸化物を沈殿させ，マウントする。アルミニウム吸収板で ^{106}Ru の娘核種の ^{106}Rh のβ線を選別して計数し，^{106}Ru を定量する。

この方法は試料１０gを用いた場合約0.1 pCi／g（灰分）が定量できる。

5.2.1　試薬および装置，器具

担体溶液　ルテニウム担体溶液（5mgRu／ml）

標準溶液　^{106}Ru 標準溶液（５００dpm ^{106}Ru／ml）

酸　硝酸

アルカリ　水酸化ナトリウム溶液（２４w／v％）

塩類溶液　過ヨウ素酸カリウム－水酸化カリウム混合溶液

塩　類　過マンガン酸カリウム

その他　エタノール

装　置　ガスフロー型低バックグラウンド計数装置

電気炉

光電光度計または光電分光光度計

器 具 類　蒸留器（図３），マントルヒータ，スライダック，ビーカ，メスフラスコ（５０ｍｌ）

5.2.2　分析操作

(1)　４５０～５００℃で灰化した海産生物の灰１０ｇを正確に量り，ビーカ（５００ｍｌ）に入れ，ルテニウム担体溶液（５ｍｇ Ru／ｍｌ）２ｍｌを加えよくかき混ぜる。

(2)　硝酸５０ｍｌを徐々に加えて時計ざらでふたをして熱板上で酸化窒素ガスが発生しなくなるまで加熱して分解する[2]。

(3)　冷却後，蒸留フラスコ（図３）に移し蒸留器を組みたてる。

(4)　水酸化ナトリウム溶液（２４w／v％）３０ｍｌを遠沈管（５０ｍｌ）に入れ，ドライアイスーエタノール浴で－５～５℃に冷却して吸収液とする。

(5)　吸収液が冷却された後，過マンガン酸カリウム５ｇを蒸留フラスコに静かに徐々に加える[3]。

(6)　以下第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法，4.1.2分析操作(10)以下に従って操作する。

5.2.3.　測定試料の調製

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法，4.1.3 測定試料の調製法に従って調製する。

5.2.4　測　　定

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法，4.1.4測定に従って測定する。

5.2.5　化学収率の求め方

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.5化学収率の求め方に従って求める。

5.2.6　計数効率の求め方

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.6計数効率の求め方に従って求める。

5.2.7　計　　算

灰中の ^{106}Ru の濃度（pCi／ｇ）を次式に従って計算する。

$$a = \left[\left(\frac{Ns}{Ts} - \frac{Nb}{Tb} \right) \pm \sqrt{\frac{Ns}{Ts^2} + \frac{Nb}{Tb^2}} \right] \times \frac{100}{E} \times \frac{100}{Y} \times \frac{1}{W}$$

$$\times \frac{1}{2.22} \times \frac{1}{e^{-\frac{0.693}{368} t}} \times \frac{50}{45}$$

3

2）　試料が完全に灰化されないで有機物が少量残るため加熱を行い分解をする。この加熱分解操作が不充分な場合，操作(5)以下の蒸留で試料液が吹き出すことがあるので，硝酸を適宜追加し加熱分解する。

3）　試料中の有機物により消費されるので，有機物が多く含まれる場合には，さらに追加する。この場合，フラスコ内液温を６０℃以下に放冷した後，徐々に加え再び蒸留を行う。

ここで

a ： 灰中の ^{106}Ru（pCi／g）

Ns ： 試料の全計数値

Ts ： 試料の測定時間（分）

Nb ： バックグラウンドの計数値

Tb ： バックグラウンドの測定時間（分）

E ： 計数効率（％）

Y ： 化学収率（％）

W ： 試料量（g）

t ： 試料採取から測定までの時間（日）

第６章　海底堆積物中の放射性ルテニウムの分析

6.1　第１法（硝酸浸出－蒸留法）

海底堆積物を硝酸で浸出し，酸化蒸留してルテニウムを分離した後，分離したルテニウムはマグネシウムで還元して金属ルテニウムを沈殿させマウントする。マウントした金属ルテニウムはアルミニウム吸収板を用い^{106}Ru の娘核種の ^{106}Rh のβ線を選別して計測を行い定量する。

この方法は試料５０gを用いた場合約２０pCi／kgが定量できる。

6.1.1　試薬および装置，器具

担体溶液	ルテニウム担体溶液（５mg Ru／ml）
標準溶液	^{106}Ru標準溶液（５００～１０００dpm／ml）
酸	硝酸，硝酸（２＋３），塩酸（１＋１），リン酸
アルカリ	水酸化ナトリウム溶液（24w／v%）
塩　類	過ヨウ素酸カリウム，ペルオキソ二硫酸カリウム
その他	エタノール
	マグネシウム（粉末）
装　置	ガスフロー型低バックグラウンド計数装置
器具類	蒸留フラスコ（５００ml，図３参照）
	三角フラスコ，ガラスフィルタ（Ｇ１），分離型フィルタ，マントルヒータ，スライダック，エアポンプ，流量計

6.1.2　分析操作

(1) 乾燥細土５０gを三角フラスコ（１l）にとり，ルテニウム担体溶液（５mg Ru／ml）２mlを正確に加え，更にエタノール５mlを加え，よく混合して熱風乾燥器内（１０５℃）に入れ乾燥する。

(2) 硝酸３００ml を泡立ちに注意して少しずつ加え，時計ざらで覆い，熱板上で加熱して約３０分間煮沸する。酸化窒素ガスが発生している場合は，さらに煮沸を続ける。

(3) 溶液が熱いうちにガラスフィルタ（Ｇ１）を用いて吸引ろ過する。硝酸（２＋３）を用いて数回洗浄した後，残留物は捨てる。ろ液，洗液は蒸留フラスコに受ける。

(4) 蒸留フラスコを組む（図３参照）リン酸２ml を加え，溶液が５０℃以下に冷えたのち，過ヨウ素酸カリウム５g及びペルオキソ二硫酸カリウム５gを加える。

(5) エアポンプを用いて５０ml／min．の割合でフラスコに空気を送りながら，マントルヒータに通電して徐々に加熱する。スライダックで電圧を調節し液温を１００～１０５℃に保ちながら　約２０分間蒸留する。

(6) 留出するルテニウムはドライアイスーエタノール浴　または氷浴[1]　で冷却した水酸化ナト

リウム溶液（24w／v%）６０ｍｌに吸収する。

(7) 吸収液は１００ｍｌ ビーカに移し，吸収管およびガス導出管を水で洗浄しビーカに加える。

(8) エタノール５ｍｌ を加えてかき混ぜ，熱板上で約３０分間加熱し，生成した沈殿を熟成させる。

(9) 放冷した後，３０００ｒｐｍ で約１０分間遠心分離し，上澄み液は捨てる。

(10) 沈殿に塩酸（１＋１）１０ｍｌ を加え，一部溶解した懸濁液を三角フラスコ（２００ｍｌ）に移す。遠沈管は水５０ｍｌ で洗浄しビーカに加える。

水浴上で加熱し，沈殿を溶解する。

6.1.3 測定試料の調製

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.3 測定試料の調製法に従って調製する。

6.1.4 測　　定

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.4 測定に従って測定する。

6.1.5 計数効率の求め方

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.5 計数効率の求め方に従って求める。

6.1.6 計　　算

海底堆積物（乾燥細土）中の^{106}Ruの濃度（pCi／kg）を次式に従って計算する。

$$a = \left[\left(\frac{Ns}{Ts} - \frac{Nb}{Tb} \right) \pm \sqrt{\frac{Ns}{Ts^2} + \frac{Nb}{Tb^2}} \right] \times \frac{100}{E} \times \frac{100}{Y} \times \frac{1000}{W} \times \frac{1}{2.22} \times \frac{1}{e^{-\frac{0.693}{363} t}}$$

ここで

a ： 海底堆積物（乾燥細土）中の^{106}Ru濃度（pCi／kg）

Ns ： 試料の全計数値

Ts ： 試料の測定時間（分）

Nb ： バックグラウンドの計数値

Tb ： バックグラウンドの測定時間（分）

E ： 計数効率（%）

1） なるべくドライアイスーアルコール浴で冷却することが望ましい。氷浴の場合収率が数%低くなることがあるが，吸収液温が５℃以上にならないよう注意すれば実用上支障はない。

Y ： 化学収率（％）

W ： 試料量（g）

t ： 試料採取から測定までの時間（日）

6.2 第2法（強リン酸分解－蒸留法）

海底堆積物を強リン酸と加熱して分解を行った後，二クロム酸カリウムを加え四酸化ルテニウムを蒸留分離する。吸収液にマグネシウム粉末を加え，金属ルテニウムを沈殿させマウントする。重量を量り担体の回収率を求めたのち，β線を測定する。この方法は試料1gを用いた場合約1000 pCi／kg，5gを用いた場合約200 pCi／kgが定量できる。

6.2.1 試薬および装置

担体溶液　ルテニウム溶液（5 mgRu／ml）

標準溶液　^{106}Ru標準溶液（500dpm ^{106}Ru／ml）

酸　強リン酸，塩酸（1＋11），（1＋1）

塩類　二クロム酸カリウム，ヨウ素酸カリウム

その他　エタノール，金属マグネシウム（粉末）

水酸化ナトリウム溶液（4w／v％）

装置　ガスフロー型低バックグラウンド計数装置

器具類　強リン酸蒸留装置（図5），三角フラスコ（100ml）

分離型フィルタ，小型時計ざら

ろ紙（5種C，24 mmφ）

6.2.2 分析操作

(1) 反応フラスコ（図5）にルテニウム担体溶液（5mg Ru／ml）を正確に2ml加え，少量の水酸化ナトリウム溶液を加えて微アルカリ性にする。これを沸騰水浴中に入れて蒸発乾固する。

(2) 乾燥細土（149μmのフルイを通ったもの）1～5gを反応フラスコにはかりとり，強リン酸40gとヨウ素酸カリウム1.0gを加えてよく振りまぜる。

(3) 反応フラスコの温度計付きキャップを図5のように装着し，温度計挿入管に少量のシリコン油と温度計（360℃）を入れ，ボールジョイント（J_1）からアスピレータで軽く吸引しながら，小型電熱器（スライダックで約20Vに調節）上で加熱する。30～45分間で，フラスコ内容物の温度が240℃に達したら[2)] 加熱をやめ，吸引を続けたまま約100℃まで放冷

2） この操作で，塩素，シュウ素，ヨウ素などが除去され，有機物の大部分が分解される。急激な温度上昇は避けた方がよい。

する。

(4) つぎに，反応フラスコに強リン酸約２０gを追加し，フラスコのスリ合わせ部分に付着しないように注意して，二クロム酸カリウム約２gを加え，温度計付キャップを装着して十分に振りまぜる。

(5) 塩酸（１＋１）＋エタノール（容積比１：１）１０ml を入れた吸収管２本を連結し，末端から軽く吸引しながら(3)と同様に加熱する。温度が上昇すると吸収液の色が褐色に変化する。フラスコ内容物の温度が２４０℃まで達したら，加熱をやめて(3)と同様に放冷する[3]。

(6) 吸収管をはずし，吸収液および洗浄液を三角フラスコ（１００ml ）に移し，塩酸濃度が約１Mになるように水でうすめる。

6.2.3 測定試料の調製法

三角フラスコ内の溶液を第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.3 測定試料の調製法に従って，測定試料を調製する。

6.2.4 測　　定

6.2.3 で得た試料を，第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.4 測定に従って，^{106}Ru と放射平衡にある娘核種の ^{106}Rh のβ線を測定する。

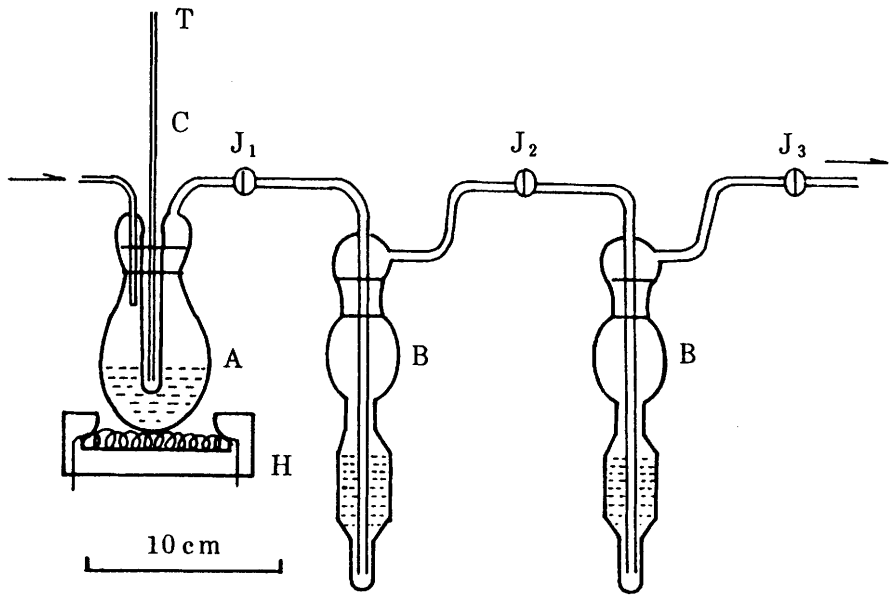
6.2.5 計数効率の求め方

第４章海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.2.5 計数効率の求め方に従って求める。

6.2.6 計　　算

海底堆積物（乾燥細土）中の^{106}Ruの濃度（pCi／kg）を，6.1.6 に従って計算して求める。

3） 試料が３～５gの時は，(5)の操作ののち，吸収液をそのままにして，反応フラスコに二クロム酸カリウムを更に２g加えて(4)，(5)の操作を繰り返す。



A ： 反応フラスコ　　B ： 吸収管

H ： 電熱器　　T ： 温度計

C ： 温度計付キャップ　　J_{1-3} ： ボールジョイント

（Aは$\frac{29}{32}$の共通スリ合せを有するナス型フラスコ（100mlまたは200ml）である）

図5　強リン酸蒸留装置

第7章　ポリエチレンフイルムを用いる放射性ルテニウムの分析

硫化コバルト共沈法[1]によって予備濃縮された試料などを三角フラスコに入れ，酸化剤を加えてフラスコの口をポリエチレンフイルムで覆い，水浴上で加熱して放射性ルテニウムを定量的にフイルムに固着させる。

フイルムの中央部分を切って試料皿に拡げて入れ，マウントしアルミニウム吸収板を用いβ線を選別して計測し^{106}Ruを定量する方法である。

この方法は試料4 l を用いた場合^{106}Ru約0.25 pCi／l が定量できる。

この方法の回収率は95％以上であるから，化学収率に対する補正の必要はない。

この方法により，同時に多数の試料を分析することができるが，ルテニウムの担体を300 μg 以上添加した場合には適用できない。

7.1　試薬および装置，器具

担　体	塩化コバルト溶液（10 mg Co^{2+}／ml）
	塩化ルテニウム溶液（1 mgRu／ml）
酸	塩酸（1＋3）
	硫酸（1＋35）
アルカリ	アンモニア水（1＋1）
塩　類	チオアセトアミド溶液（4w／v％）
	過ヨウ素酸カリウム
	ペルオキソ二硫酸カリウム＜過硫酸カリウム＞
	塩素酸カリウム
	硝酸銀溶液（10w／v％）
その他	ポリエチレンフイルム[2]（密度0.925 g／cm^3 以下）

1）　全ベータ放射能測定法（2訂，昭51）硫化コバルト共沈法を参照のこと。

2）　密度0.925 g／cm^3 以下のポリエチレンフイルムとは，高圧法によって作られたポリエチレンを用いたもので，各種ポリエチレンの中で一番柔軟で，本法による反応性にも富んでいる。

分析に100mlの三角フラスコを用いるときは，フイルムを55×55mmの大きさに切り，200mlのときは60×60mmのものが適合する。厚さ0.02mmなどなるべく薄いものがよい。

フイルムの両面は絹布に洗剤溶液をつけ，力を入れて万遍なくこすって洗い，あと3回水洗し使用までの間水中に貯える。

洗浄後のフイルムは清潔なピンセットで取り扱い，手指で直接触れてはいけない。ただし，やむを得ない場合には，石けんでよく洗った手で最少限触れる程度なら支障は起らない。

装　　置　　ガスフロー型低バックグラウンド計数装置

遠心分離器，電気水浴[3]

器具類　　ビーカ（5 l），かくはん棒，ガスコンロ，三角フラスコ（100mlあるいは200ml），熱板，アルミニウム吸収板（40～50mg／cm^2）

(1) 4 l の海水試料をポリエチレンビンに採取し，塩酸40mlを加え実験室にはこぶ。

(2) 試料をビーカに移し，ポリエチレンビンを300mlの塩酸（1＋3）で洗う。洗液は試料に合せる。

(3) 試料にコバルト担体溶液（10mg Co^{2+}／ml）4 mlを加え煮沸する。

(4) 500mlのアンモニア水（1＋1）を加えて溶液のpHを約9.7に調整し，ついでチオアセトアミド溶液（4w／v％）120mlを加え，よくかきまぜてから90～95℃で2時間加熱する。

(5) 冷却後，沈殿を遠心分離し，一つの遠沈管に集めて，アンモニア水（1＋1）を1滴含む少量の水で洗う。

(6) 硝酸2mlを加え，水浴で加熱して硫化コバルトを溶解させる。

(7) 不溶物を入れないようにして，駒込ピペットで溶液を，フッ化水素アンモニウム溶液で洗った三角フラスコに移し，ルテニウムの担体溶液（1mg Ru／ml）0.05mlと硫酸（1＋35）10mlを加える。全液量はフラスコの容量の1／3を超えないようにする[4]。

(8) 硝酸銀溶液（10w／v％）2～3滴を加える。

(9) これに過ヨウ素酸カリウム0.5 g とペルオキソ二硫酸カリウム0.5 g，塩素酸カリウム0.5 g を添加し，直ちに，フラスコの口をきれいに洗ったポリエチレンフイルムで覆い，輪ゴムで軽く固定する。

(10) 三角フラスコを沸騰する水浴上で2時間加熱する。

(11) 加熱を続けたままポリエチレンフイルムを外し，静かに水洗する。

(12) フイルムに付着した水滴をろ紙で吸い取り，フイルムの黒くルテニウムが付着している部分とその周辺をはさみで切り取る。

(13) 測定用試料ざらを熱板上に置き，板上に落した水滴がはじかれることなく，しばらくして強く

3）　横に一列に数個の加熱部分が並んだソックレスー抽出器用の水浴が使い易い。

4）　ルテニウムの担体がより多くなると，ポリエチレンフイルムの反応場所が飽和に近づき，反応しにくくなる。また，反応液の酸や塩の濃度が高くなりすぎても，液量が多くなり過ぎても，四酸化ルテニウムの揮発を妨げ，定量的収率が得にくくなる。

沸騰する温度に保ち，試料ざらに切取ったフイルム片を拡げて入れ，つまようじなどの先で手早く中央から順に軽く圧して底に融着させる。

7.3 測　　定

7.2(13)で得た測定試料を，海水中の放射性ルテニウムの分析法 4.1.4 測定に従って測定する。ただし，測定試料およびバックグラウンドは2時間測定する。

7.4 計数効率の求め方

(1) 7.2(13)の方法で測定用試料ざらの底にポリエチレンフイルム片を融着させ，この上に ^{106}Ru 標準溶液の一定量（100～200μl，500～1,000dpm）を入れ，おだやかに蒸発乾固する。

(2) 以下，7.3に従い標準試料の計数率（cpm）を測定し，次式によって計数効率を求める。この実験は数回繰り返し行い，その平均値を採用する。

$$E = \frac{C}{A} \times 100\ (\%)$$

ここで　E ： 計数効率（%）

C ： 標準溶液の計数率（cpm）

A ： 標準溶液の ^{106}Ru の壊変率（dpm）

7.5 計　　算

海水中の ^{106}Ru の濃度（pCi／l）を次式に従って計算する。

$$a = \left[\left(\frac{Ns}{Ts} - \frac{Nb}{Tb} \right) \pm \sqrt{\frac{Ns}{Ts^2} + \frac{Nb}{Tb^2}} \right] \times \frac{100}{E} \times \frac{1}{W} \times \frac{1}{2.22} \times \frac{1}{e^{-\frac{0.693}{368} t}}$$

ここで　a ： 海水中の ^{106}Ru 濃度（pCi／l）　　t ： 試料採取から測定までの時間(日)

Ns ： 試料の全計数値

Ts ： 試料の測定時間（分）

Nb ： バックグラウンド計数値

Tb ： バックグラウンド測定時間（分）

E ： 計数効率（%）

W ： 試料量（l）

付録 I ^{103}Ru の分析法

^{103}Ruの分析法は，海水，海産生物，海底堆積物中の^{106}Ruの分析法と全く同一操作により処理し，ルテニウムを分離した後マウントし，アルミニウム吸収板を用いて，娘核種の ^{103}Rhおよび ^{106}Rhのβ線を選別し計測して同時に定量する。

I－1 分析操作

第4章海水中の放射性ルテニウムの分析法,4.1第1法，4.2第2法，第5章海産生物中の放射性ルテニウムの分析法，5.1第1法，5.2第2法，第6章海底堆積物中の放射性ルテニウムの分析法，6.1第1法，6.2第2法中のそれぞれの分析操作，測定試料の調製法に従って測定試料を調製する。

I－2 測　　定

第4章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.4測定に従って測定を行う。この場合，試料に2.5 mg／cm^2 のアルミニウム吸収板を用いて1時間測定を行う。

I－3 ^{103}Ru自己吸収補正係数と計数効率の求め方

(1) ^{103}Ru標準溶液を1ml（約10,000dpm）をルテニウム担体溶液（5mg Ru／ml）30mlに加えこの放射性担体溶液の 0.2，0.5，1.0，2.0，5.0，7.0 および10ml をそれぞれ蒸留フラスコ（第3図参照）にとる。各分取液中に含まれる ^{103}Ruの量（Ndpm）を計算し記録しておく。

(2) 分取した溶液に硝酸30mlずつをそれぞれ加えて振り混ぜたのち，過マンガン酸カリウム1gを加える。

(3) 第4章海水中の放射性ルテニウムの分析法4.1.2(7)～(13)に従って蒸留する。

(4) 留出液をビーカに移し，エタノール2ml を加えて水浴上で加熱し，沈殿を生成，熟成する。

(5) 重量を量ったろ紙（5種C）で分離型フィルタを用いて吸引ろ過，水で洗浄，ついでエタノール5ml で洗浄する。

(6) シリカゲルを入れたデシケータまたは真空デシケータ中に入れ乾燥する[1)]

(7) 沈殿は放射能を測定し，ついで沈殿の重量を量る。

(8) 正方眼紙に，沈殿の面積当り[2)]の重量（mg／cm^2）を横軸に，その放射能を縦軸にプロットす

1） 乾燥中にろ紙が巻きあがらないように，測定容器に入れ，押えるようにして乾燥する。

2） フイルターホールダの内径を測定し，沈殿の面積を求める。

る[3]。

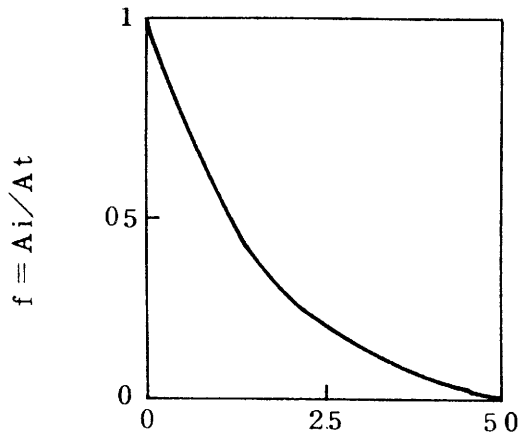
(9) ルテニウム担体溶液（5mg Ru／ml）10mlを加えて得られた沈澱の放射能をA∞とし，0.2～7.0mlの沈澱の放射能をそれぞれAi（i＝0.2～7）として片対数方眼紙の縦軸に（A∞－Ai）／A∞，横軸に沈澱の面積当りの重量（mg／cm^2）をプロットする。

(10) 各測定点値を結ぶ直線の勾配（μ，cm^2／mg）を計算する。

(11) 計算した勾配μを用いて，沈殿の厚さt（mg／cm^2）と次式により求まるfの関係を示すグラフを正方眼紙に作成する。

$$f = (1 - e^{-\mu t}) / \mu t$$

fは実測値Aiを真の放射能値Atに換算する補正係数である。（下図）



^{103}Ruの自己吸収補正曲線

(12) (7)で測定した各沈殿の厚さ（mg／cm^2）に対応するfを図から求め，この値fi（i＝0.2～7）で同じく(7)で測定した放射能値Ai（i＝0.2～7）を除して，真の放射能値Ati（i＝0.2～7）を算出する。

(13) 測定済みの沈澱およびルテニウム担体溶液（5mg Ru／ml）1mlをそれぞれビーカ（50ml）に入れ，過ヨウ素酸カリウム－水酸化カリウム混液10mlを加えて沈澱を溶解し，メスフラスコ（50ml）に移し入れ，水を標線まで加え振り混ぜる。

(14) (13)の溶液の一部を吸収セルに移し入れ，波長400nmで測定し，[4] 担体溶液の吸光度を化

3） プロットされた点をなめらかな曲線で結ぶと，40mg／cm^2 付近からほぼ水平になる。この値がA∞に相当する。

4） 透過率が小さい（10％以下）ときは，この溶液をさらに正しく一定量に水で薄めて測定する。

学収率１００％として，これに対する比R_3ｉをそれぞれ求める。

(15) (12)で算出した真の放射能Ａｔｉ を操作(14)で求めた比（収率）でそれぞれ除して収率を補正した真の放射能Ｎｔ を求める。

（Ｎｔ＝Ａｔｉ／R_3ｉ）

(16) (15)のＮｔ を(1)でスパイクした^{103}Ru放射能量（Ｎ ｄpm)で除して，それぞれの比を求め，この平均値を^{103}Ru の計数効率η_{103}とする。

（η_{103}＝Ｎｔ／Ｎ＝Ａｔｉ／R_3 ｉＮ）

Ｉ－４ ^{103}Ruの外部吸収補正係数の求め方

(7)の測定後，2.5 mg／cm^2 のアルミニウム吸収板[5]を試料容器の上にのせて放射能を測定し，この測定値を(7)の測定値で除した値をｆｅｘｔとする。ｆｅｘｔは2.5 mg／cm^2 のアルミニウム吸収板による^{103}Ruの吸収の割合を示すもので，この測定値をこのｆｅｘｔで除することによって吸収板のない場合の放射能値を算出することができる。

Ｉ－５ 計　　算

試料中の^{103}Ru濃度（pCi／l or pCi／g）を次式に従って計算する。

$$A=\left[\left\{\left(\frac{C_1}{t_1}-\frac{B_1}{tB_1}\right)f_1-\left(\frac{C_2}{t_2}-\frac{B_2}{tB_2}\right)\frac{f_1\,f_2}{f_3}\right\}\pm\sqrt{\left(\frac{C_1}{{t_1}^2}+\frac{B_1}{{tB_1}^2}\right){f_1}^2+\left(\frac{C_2}{{t_2}^2}+\frac{B_2}{{tB_2}^2}\right)\left(\frac{f_1\,f_2}{f_3}\right)^2}\right]\times\frac{100}{E}\times\frac{100}{Y}\times\frac{1}{W}\times\frac{1}{2.22}+\frac{1}{e^{-\frac{0.693}{30}t}}$$

ここで　Ａ　：　^{103}Ruの濃度（pCi／l or pCi／g）

C_1　：　試料の2.5 mg／cm^2 のA1 吸収板を用いた時の計数値

C_2　：　試料の５０mg／cm^2 のA1 吸収板を用いた時の計数値

5）　アルミニウム吸収板は，実際^{106}Ruのβ線（３７keV）を遮蔽するために用いるものを使用する。

f_1 ： 2.5 mg／cm^2 の Al 吸収板を用いた時の ^{103}Ru の吸収補正係数

f_2 ： 50 mg／cm^2 の Al 吸収板を用いた時の ^{106}Ru の吸収補正係数

f_3 ： 2.5 mg／cm^2 の Al 吸収板を用いた時の ^{106}Ru の吸収補正係数

B_1 ： 2.5 mg／cm^2 の Al 吸収板を用いた時のバックグラウンドの計数値

B_2 ： 50 mg／cm^2 の Al 吸収板を用いた時のバックグラウンドの計数値

t_1 ： C_1 の計数時間（分）

t_2 ： C_2 の計数時間（分）

tB_1 ： B_1 の計数時間（分）

tB_2 ： B_2 の計数時間（分）

E ： 計数効率（％）

Y ： 化学収率（％）

W ： 試 料 量

T ： 試料採取から測定までの時間（日）

付録 Ⅱ　分析結果報告書例

Ⅱ－1　海水中の放射性ルテニウムの分析結果

計数装置	Aloka LBC−451
計数効率	42.7%
自然計数率	0.76

昭和51年12月10日
担当機関名　A
主任担当者　B
分析者　C

試料番号	採取年月日	採取量(l)	採取地点	採取深度(m)	測定年月日	供試量(l)	採取時における ^{106}Ru(pCi/l)	備考
Ru−024	51.9.1	40	東海村沖	2	51.12.6	20	＜0.05	

Ⅱ－2　海産生物（灰）中の放射性ルテニウム分析結果

昭和51年12月10日
担当機関名　A
主任担任者　B
分析者　C

試料番号	採取年月日	品名	採取量(Kg)	採取地点	測定年月日	供試量灰(g)	採取時における ^{106}Ru(pCi/l)	灰分(%)
Ru−031	51.9.1	カジメ	1.0	久慈浜	51.12.7	10	0.10±0.03	4.1

Ⅱ－3　海底堆積物中の放射性ルテニウムの分析結果

計数装置	Aloka LBC−3
計数効率	50.6%
自然計数率	0.90

昭和51年12月20日
担当機関名　A
主任担当者　B
分析者　C

試料番号	採取年月日	採取量(Kg)	採取地点	採取深度(m)	測定年月日	供試量乾土(g)	採取時における ^{106}Ru(pCi/Kg)	備考
Ru−045	51.8.25	5	浦底湾	12	51.12.16	50	20±5	

文部科学省放射能測定法シリーズ

1．全ベータ放射能測定法	昭和 51 年 9 月 (2 訂)
2．放射性ストロンチウム分析法	昭和 58 年 12 月 (3 訂)
3．放射性セシウム分析法	昭和 51 年 9 月 (1 訂)
4．放射性ヨウ素分析法	平成 8 年 3 月 (2 訂)
5．放射性コバルト分析法	平成 2 年 2 月 (1 訂)
6．NaI(Tl) シンチレーションスペクトロメータ機器分析法	昭和 49 年 1 月
7．ゲルマニウム半導体検出器によるガンマ線スペクトロメトリー	平成 4 年 8 月 (3 訂)
8．放射性ジルコニウム分析法	昭和 51 年 9 月
9．トリチウム分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
10．放射性ルテニウム分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
11．放射性セリウム分析法	昭和 52 年 10 月
12．プルトニウム分析法	平成 2 年 11 月 (1 訂)
13．ゲルマニウム半導体検出器等を用いる機器分析のための試料の前処理法	昭和 57 年 7 月
14．ウラン分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
15．緊急時における放射性ヨウ素測定法	昭和 52 年 10 月
16．環境試料採取法	昭和 58 年 12 月
17．連続モニタによる環境γ線測定法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
18．熱ルミネセンス線量計を用いた環境γ線量測定法	平成 2 年 2 月 (1 訂)
19．ラジウム分析法	平成 2 年 2 月
20．空間γ線スペクトル測定法	平成 2 年 2 月
21．アメリシウム分析法	平成 2 年 11 月
22．プルトニウム・アメリシウム逐次分析法	平成 2 年 11 月
23．液体シンチレーションカウンタによる放射性核種分析法	平成 8 年 3 月 (1 訂)
24．緊急時におけるガンマ線スペクトロメトリーのための試料前処理法	平成 4 年 8 月
25．放射性炭素分析法	平成 5 年 9 月
26．ヨウ素－129 分析法	平成 8 年 3 月

放射性ルテニウム分析法（1 訂）

平成９年１月31日　第１刷　発行

発　行　所

財 団 法 人　日 本 分 析 セ ン タ ー

〒263-0002　千葉県千葉市稲毛区山王町 295-3
電　　話　（０４３）４２３－５３２５（代表）
　　（０４３）４２４－８６６３（直通）
Ｆ　Ａ　Ｘ　（０４３）４２３－４０７１