報 文

2,4,6-トリ-2-ピリジル-1,3,5-トリアジン担持活性炭を用いる
吸着分離/黒鉛炉原子吸光法による微量ルテニウムの定量新井 信正*, 南澤 宏明[®]*, 鈴木 茂*, 奥谷 忠雄**Preconcentration of ruthenium on activated carbon impregnated with
2,4,6-tri-2-pyridyl-1,3,5-triazine/graphite furnace AAS

Nobumasa ARAI, Hiroaki MINAMISAWA, Shigeru SUZUKI* and Tadao OKUTANI**

*Department of Liberal Arts and Basic Sciences, College of Industrial Technology, Nihon University, 2-11-1, Shinei-cho, Narashino-shi, Chiba 275

**Department of Industrial Chemistry, College of Science and Technology, Nihon University, 1-8-14, Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101

(Received 15 March 1996, Accepted 4 June 1996)

Ruthenium is adsorbed on activated carbon impregnated with 2,4,6-tri-2-pyridyl-1,3,5-triazine (TPTZ-AC). A simple and rapid determination method for trace amounts of Ru by graphite furnace AAS using direct heating of Ru adsorbed TPTZ-AC was investigated. The proposed method is as follows. A sample solution of 100~1000 cm³ containing Ru is mixed with 50 mg of TPTZ-AC. The pH is then adjusted to 7.0 with phosphate buffer solution, and stirred for 10 min. The Ru adsorbed TPTZ-AC was separated from the sample solution by filtration. The TPTZ-AC on membrane filter is dispersed in 5.0 cm³ water. After shaking, 10 µl of the resulting suspension is injected directly into the graphite furnace. The absorbance is measured at 349.9 nm. The pyrocarbon treated graphite tube was most effective for the measurement of Ru. The calibration curve was liner below 2.5 µg/100 cm³ (aqueous phase). The determination limits (3σ) were 0.08 µg/100 cm³ (aqueous phase). The presence of such as Cu, Ni did not interfere. Interference by Fe could be masked by adding thiourea and 1,10-phenanthroline and ammonium fluoride. The proposed method was applied to the determination of Ru in several water samples.

Keywords : preconcentration; ruthenium; activated carbon impregnated with 2,4,6-tri-2-pyridyl-1,3,5-triazine (TPTZ-AC); graphite furnace AAS.

1 緒 言

Ru は希産の白金族元素であり, Ir や Os などの合金

鉱であるイリドスミンなどに数% 含まれている。Ru は硬度が硬く, 融点も高いことなどから, 一般に他の白金族元素の硬化元素として用いられ, ピボットやペン先などに利用されている。Ru は酸化されやすく, 多種の酸化物が存在し, 特に四酸化ルテニウムは揮発性が高いため, しばしば分離の目的に使用されるが, Os と同様に毒性も高い¹⁾²⁾。近年, この Ru の特異な性質に注目し,

* 日本大学生産工学部教養・基礎科学系: 275 千葉県習志野市新栄 2-11-1

** 日本大学理工学部工業化学科: 101 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14

芳香族アミンの水素添加の際にも用いられており、触媒としての利用も広く検討されている³⁾⁴⁾。一方、Ru は核燃料再処理時に四酸化ルテニウムを生じ、放射能汚染の原因となるなどの重大な問題を持っている⁵⁾。このような点から、環境中の Ru の存在量を正確に把握するために、種々の定量法の検討が行われているが、感度が低いなどの理由から、原子吸光法は Ru の定量には不適当だとされてきた。しかし、最近では、様々な検討により、より高感度な原子吸光法の報告も多く見られる。すなわち、フレイム原子吸光法では、Ce⁶⁾、U⁷⁾⁸⁾などを加えて吸収感度を上げる方法や溶媒抽出などの濃縮操作を併用する方法⁹⁾などが報告された。フレイムレス原子吸光法では黒鉛炉を用いる方法が主流であり、白金¹⁰⁾、イン石¹¹⁾、生体試料¹²⁾¹³⁾、放射性廃棄物燃料¹⁴⁾などに含まれる微量 Ru の定量方法の報告がある。

著者らは以前に鉄の比色定量試薬として知られる 2,4,6-トリ-2-ピリジル-1,3,5-トリアジン (以下、TPTZ と略記) を活性炭に吸着させた TPTZ 担持活性炭 (以下、TPTZ-AC と略記) を用いて底質中の微量 Cu, Cd の定量を行った¹⁵⁾。この TPTZ は Ru と有色錯体を生成することが知られており、Embry らは吸光光度法により、Pt などの白金族混合系に含まれる微量 Ru の定量法について報告している¹⁶⁾。

そこで、今回は Ru を前述の TPTZ-AC に吸着濃縮後、少量の純水に分散させ、その一部を直接黒鉛炉に注入する高感度原子吸光分析について、Ru の TPTZ-AC への吸着条件、原子吸光測定条件などの検討を行い、満足の得られる結果を得たので報告する。

2 実 験

2.1 装 置

AAS 装置は日本ジャーレル・アッシュ製 AA-880型に同社のフレイムレス電源 FLA-100、黒鉛炉原子化装置 HV-10 を取り付けて使用した。黒鉛管には同社のチューブ型パイロ処理黒鉛管を用いた。光源には浜松ホトニクス製 L-233 型中空陰極ランプ Ru 用を、バックグラウンド補正には同じく同社の D₂ ランプをそれぞれ使用した。

pH 測定には堀場製 M-8L 型 pH メーターを用い、懸濁液の分散にはイワキ製試験管ミキサー TM-152 型を、試料の注入にはエッペンドルフ製マイクロピペット 10 μ l をそれぞれ使用した。

その他、TPTZ-AC の調製にはブランソニック製超音波洗浄機 220 型を、Ru の吸着実験にはアドバンテック製磁気かき混ぜ機 SR-50 型を使用した。活性炭及び

TPTZ-AC の比表面積は Yuasa-Quantachrome 製モノソープを用い、B. E. T. 式窒素吸着法により、脱気温度 110°C、脱気時間 10 分で測定した。

2.2 試 薬

Ru 標準溶液: Aldrich Chemical 製原子吸光分析用試薬 (1000 μ g/cm³) を原液とし、使用の際、5%-HCl で適宜希釈して使用した。

TPTZ: 同仁化学研究所製ドータイト TPTZ を使用した。

活性炭: 和光純薬製クロマトグラフ用活性炭素 (300 メッシュ以下) を次のように精製して用いた。活性炭 5 g に 3 mol dm⁻³ HCl 500 cm³ を加え、超音波洗浄機で約 30 分間振動を与える。これを更に 1 日放置して、活性炭に吸着している金属を溶出させる。吸引後、純水で十分洗浄し、110°C で約 2 時間乾燥させ、デシケーター中で保存した。

黒鉛管の処理に用いた硝酸セリウム、塩化パラジウムなどを含め、その他のすべての試薬は特級品又は精密分析用を使用した。

2.3 TPTZ-AC の調製

精製した活性炭 5 g と TPTZ 2.0 g を 3 mol dm⁻³ HCl 50 cm³ に加えてかき混ぜる。これを更に 1 日放置する。吸引後、純水で十分洗浄し、110°C で約 2 時間乾燥させて調製した。この操作により、5 g の活性炭に約 1.0 g の TPTZ が吸着した。なお、このようにして得られた TPTZ-AC は非常に安定であり、少なくとも 1 年間そのまま保存しても Ru の吸着能は変わらなかった。

2.4 定量操作

Ru 2.5 μ g 以下を含む試料溶液 100~1000 cm³ の pH を HCl 又は NH₃ 水を用いてほぼ中性とし、更にリン酸塩緩衝液 10.0 cm³ を加えて 7.0 に調整する。その後、吸着剤である TPTZ-AC 50 mg を加え、かき混ぜ機で約 15 分間かき混ぜて、Ru を TPTZ-AC に吸着させる。これをメンブランフィルター (径 25 mm, 孔径 8.0 μ m) で吸引後、Ru を吸着した TPTZ-AC をフィルターごと共栓付き試験管に移し、純水を正確に 5.0 cm³ 加える。試験管ミキサーで均一に分散させ、10 秒以内にこの分散懸濁液の一定量 10 μ l をチューブ型パイロ処理黒鉛管に直接注入し、原子吸光分析により測定を行う。測定時における最適条件を Table 1 に示す。

Table 1 Instrument operating conditions

Wavelength	349.9 nm
Lamp current	15 mA
Flow rate of purge gas	Ar: 3.0 (dm ³ /min)
Injection volume	10 mm ³
Graphite tube	pyrocarbon treated graphite tube
Drying	150°C—20 s (ramp mode)
Ashing	100°C—10 s (ramp mode)
Atomizing	2800°C—5 s (step mode)

Table 2 Comparison of absorbance and RSD of ruthenium with several type of graphite tube

Graphite tube	Absorbance (n=5)	RSD (n=5)
Untreated	0.0581	12.2
Pyrocarbon treated	0.2850	4.1
Cerium treated	0.1456	6.8
Palladium treated	0.1133	11.7
Zirconium treated	0.0866	10.1

Ruthenium(1.0 µg) adsorbed TPTZ-AC(50 mg)/5.0 cm³(pure water), Injection volume: 10 mm³

3 結果及び考察

3・1 黒鉛管の種類と灰化・原子化温度の検討

黒鉛炉原子吸光分析により Ru を測定する際の黒鉛管の種類について検討した。実験は 2・4 の定量操作により得られた Ru の懸濁液 10 µl を種々の黒鉛炉に注入し、Table 1 の条件によって測定を行った。その結果を Table 2 に記す。その結果、Ru は市販の未処理黒鉛管では比較的低い吸光値を示したが、パイロ処理黒鉛管では未処理黒鉛管に比べ、約 5 倍の吸光値を示した。しかも、繰り返し精度も良好であり、100 回以上の測定でも測定値にばらつきは認められなかった。パイロ処理黒鉛管の表面は炭素が層状に配列しているの、試料が均一に分布しやすい、酸化速度が遅く、寿命が長い、電気伝導性や熱伝導性が高いなどの理由から、比較的原子化温度の高い元素を分析する際に用いられている。

又、一般的に黒鉛炉原子吸光分析の測定において、吸光値が小さく化学干渉を受けやすいような元素を取り扱う際には、増感効果や化学干渉の除去による分析精度の向上を目的として、マトリックス修飾剤の添加や黒鉛管の耐熱性炭化物形成元素によるコーティングなどの種々の方法が検討されている。特に、黒鉛管の表面をこれらの金属でコーティングする方法は、黒鉛管の気孔率を下げて壁からの分析目的元素の蒸発をなくする、耐熱性や耐酸性を高めるなどの効果がある。

そこで、まずはじめに、未処理黒鉛管を用い、Ru の測定における Ce などの幾つかの金属元素のマトリックス修飾剤としての添加効果について検討を行った。実験は 1% (w/v) Ce 溶液 20 µl を黒鉛管に注入後、150°C で 20 秒乾燥させ、その後に 2・4 の定量操作により得られた Ru の懸濁液 10 µl を黒鉛炉に注入し、Table 1 の条件によって測定を行った。Ta, Pd, Zr, Rh についても同様の検討を行い、無添加時の吸光値と比較した。その結果、Rh 添加では増感効果は認められず、特に、Ta

添加では吸光値が約半分に減少したが、Ce 添加では約 2.5 倍、Pd 添加では約 2 倍、Zr 添加では約 1.5 倍の増感効果がそれぞれ認められた。なお、この傾向は各金属溶液の添加量を多くしても大きな差は認められなかった。

次に、マトリックス修飾剤として効果のあった Ce, Pd, Zr の各硝酸塩、又は塩化物水溶液を用いて黒鉛管の処理を行い、その各金属処理黒鉛管を用いて Ru の測定を行った。なお、黒鉛管の処理は久保田らの方法¹⁷⁾に従った。その結果を Table 2 に示す。未処理黒鉛管に比べ、Ce 処理黒鉛管などのいずれの黒鉛管でも増感効果が認められたが、マトリックス修飾剤として添加した場合と大きな差はなかった。又、いずれの黒鉛管も 50 回以上の測定になると吸光値の低下とばらつきが顕著になった。更に、各金属処理黒鉛管とマトリックス修飾剤を併用し、その効果についても検討したが、大きな感度の向上は認められなかった。

以上のような種々の検討結果より、本定量操作ではマトリックス修飾剤や各金属処理黒鉛管を用いずに、市販のパイロ処理黒鉛管をそのまま使用することにした。

ところで、固体試料や金属元素を吸着した各種吸着担体を直接黒鉛炉に注入し、原子吸光分析により定量する際、一般的に灰化、原子化条件などの検討が重要になる。そこで、Ru 1.0 µg を含む試料溶液 100 cm³ について、2・4 の定量操作で得られた懸濁液をパイロ処理黒鉛管に注入し、吸光値に及ぼす灰化温度の影響を検討した。その結果を Fig. 1 に示す。300~1200°C の範囲で最大一定の吸光値を示したが、1300°C 以上では吸光値が減少した。これは、灰化温度の上昇に伴い、灰化時に Ru の一部が揮散損失するものと考えられる。従って、測定時の灰化温度は 1000°C とした。TPTZ-AC を含まない Ru 標準溶液についても同様の実験を行ったとこ

Fig. 1 Effect of ashing temperature on the absorbance of ruthenium

●: Ru adsorbed TPTZ-AC/water suspension; ○: Ru standard aqueous solution

ろ、吸光値は懸濁液に比べて低い値を示し、しかも、800°C 以上になると吸光値は減少した。このことから、懸濁液では活性炭及び TPTZ が測定時に増感効果を示し、更に灰化温度の上昇に伴う Ru の揮散を抑制するものと考えられる。同様の実験を一般的な未処理黒鉛管で行ったところ、前述したようにパイロ処理黒鉛管に比べて、約 5 分の 1 の吸光値しか得られなかった。又、一定の吸光値が得られる範囲も 300~800°C と狭く、それ以上の灰化温度になると吸光値は急激に減少した。このことから、パイロ処理黒鉛管が Ru の測定に適していると言える。

次に、吸光値に及ぼす原子化温度の影響について検討し、2400~3000°C の範囲で最大一定の吸光値が得られたので、測定時には炉の消耗なども考慮し、原子化温度を 2800°C とした。

3・2 吸着時の pH の影響

Ru 1.0 µg を含む試料溶液 100 cm³ を用いて、Ru が TPTZ-AC へ吸着する際の pH の影響について検討し、得られた結果を Fig. 2 に示す。なお、ほかの条件は 2・4 の定量操作に従った。Ru は pH 6.0~8.0 の範囲で定量的に吸着し、pH 9.0 以上になると吸着率は低下した。これはキレート試薬である TPTZ が pH の上昇とともに、TPTZ-AC から白色結晶として析出し、試料溶液中の Ru と錯体を生成しなくなるためと考えられる。Ru は TPTZ と 1:1 及び 2:1 の組成比を持つ有色の

Fig. 2 Effect of pH on the adsorption of ruthenium

●: TPTZ-AC; ○: AC; Ru: 1.0 µg/100 cm³; TPTZ-AC: 50 mg; Adsorption time: 15 min

陽イオン性錯体を作ることが知られており、塩素イオン、ヨウ素イオンなどの陰イオンを対イオンとして加えた後、ニトロベンゼンなどの有機溶媒に抽出する吸光度法が報告されている¹⁶⁾¹⁸⁾。一方、一般に活性炭は疎水の性質を有するため、金属イオンに比べ、有機化合物類に対する吸着が適していると言われているが、その広い細孔分布とカルボキシル基や水酸基などの官能基の存在による化学吸着などとの相互作用から非常に複雑な吸着機構を有しており、活性炭に対する金属イオンの吸着特性は用いる活性炭や金属の種類により異なる¹⁹⁾²⁰⁾。

そこで、TPTZ を担持させていない活性炭を用いて前述と同様に Ru が吸着する際の pH の影響を検討したところ、TPTZ-AC のほぼ 50% の吸着率しか得られなかった。次に、TPTZ 溶液を加え、生成する Ru-TPTZ 錯体を活性炭へ吸着させたところ、90% 以上の吸着率を示した。TPTZ-AC と活性炭の比表面積は、それぞれ、375.8, 801.2 m² g⁻¹ であり、比表面積の大きい活性炭より比表面積の小さい TPTZ-AC の吸着率のほうが大きいことから、Ru の TPTZ-AC への吸着は活性炭の多孔構造や表面の官能基による化学吸着に由来するのではなく、TPTZ の Ru に対する錯生成能が有効に作用していることが分かる。従って、定量時には pH 7.0 で Ru を TPTZ-AC に吸着することにした。

なお、吸着率は Ru 1.0 µg を含む 5.0 cm³ の水溶液に TPTZ-AC 50 mg を加えて調製した懸濁液の一部 10 µl をパイロ黒鉛管に注入して得られた吸光値と Ru 1.0

Table 3 Effect of diverse ions on the determination of ruthenium

Diverse ion		Amount added/ mg	Ruthenium recovery, %
Co(II)	chloride	10	100
Ni(II)	〃	10	100
Cu(II)	nitrate	10	98
Cr(III)	potassium chromate	50	104
Mn(II)	chloride	50	100
Fe(III)	〃	0.5	71
		50 ^{a)}	100
		50 ^{b)}	100
		50 ^{c)}	100
Rh(II)	〃	50	100
Pd(II)	〃	50	101
Al(III)	〃	50	98
Zn(II)	nitrate	100	98
Cd(II)	chloride	100	104
Pb(II)	nitrate	100	98
Na(I)	chloride	2000	100
K(I)	〃	1000	100
Ca(II)	〃	1000	98
Cl ⁻	ammonium salt	1000	100
CH ₃ COO ⁻	〃	1000	100
PO ₄ ³⁻	〃	500	100
CO ₃ ²⁻	〃	500	100
SO ₄ ²⁻	〃	500	98

Ruthenium: 1.0 $\mu\text{g}/100\text{ cm}^3$, pH: 7.0; TPTZ-AC: 50 mg; Adsorption time: 15 min

a): added 5.0 cm^3 of 0.2 mol dm^{-3} 1,10-phenanthroline. b): added 10.0 cm^3 of 0.2 mol dm^{-3} thiourea. c): added 10.0 cm^3 of 0.2 mol dm^{-3} ammonium fluoride.

$\mu\text{g}/100\text{ cm}^3$ (10 ppb) 試料溶液について, 2・4 の定量操作により得られた懸濁液 10 μl の吸光値とを比較して求めた.

3・3 TPTZ-AC 量及び吸着時間

2・4 の定量操作において TPTZ-AC は 30 mg 以上で, 又吸着時間は 10 分以上で一定値を示したので, 定量時には, それぞれ TPTZ-AC の添加量を 50 mg, 吸着時間を 15 分間とした. その他, TPTZ-AC の粒度, 分散液の放置時間などについても検討し, 2・4 の定量操作を求めた.

3・4 検量線

検量線は, Ru 2.5 $\mu\text{g}/100\text{ cm}^3$ 以下で原点を通る良好

Table 4 Analytical results for ruthenium in various water samples

Sample	Proposed method			Another method [†]	
	Added/ μg	Found/ μg	Recovery, %	Found/ μg	Recovery, %
River water ^{a)} , Kimitsu, Chiba pref.	— 0.5 1.0	N.D. 0.5 ₀ 1.0 ₅	— 100 103	N.D. 0.4 ₈ 1.0 ₀	— 98 100
Seawater ^{a)} , Makuhari, Chiba pref.	— 0.5 1.0	N.D. 0.4 ₈ 0.9 ₇	— 98 98	N.D. 0.4 ₅ 0.9 ₉	— 95 100
Plating factory ^{b)} , Wastewater, Funabashi city	— 0.5 1.0	0.2 ₅ 0.7 ₈ 1.2 ₅	— 103 99	0.2 ₀ 0.7 ₀ 1.1 ₇	— 100 97

N.D. $\leq 0.08\text{ }\mu\text{g}$; Ru: 100~1000 cm^3 ; TPTZ-AC: 50 mg; Adsorption time: 15 min; Masking reagent: added 5.0 cm^3 of 0.2 mol dm^{-3} 1,10-phenanthroline

a) sample volume: 500 cm^3 , b) sample volume: 100 cm^3

†) ML Formento's method⁽¹³⁾

な直線関係が得られた. Ru 1.0 及び 0.5 μg を含む試料溶液について, 本法での繰り返し精度 ($n=5$) はそれぞれ, 4.1, 4.7% であった.

本法での定量下限は $S/N \geq 3$ で, Ru 0.08 $\mu\text{g}/100\text{ cm}^3$, すなわち 0.8 ppb である. なお, 本法は試料溶液 1000 cm^3 からの濃縮 (200 倍濃縮) も可能である.

3・5 共存イオンの影響

Ru 1.0 μg を含む試料溶液に各種の金属イオン及び陰イオンを存在させ, 2・4 の定量操作に従って, Ru の定量における共存イオンの影響について検討した. その結果を Table 3 に示す. Co, Ni などの多くの金属イオンは 10 mg の共存でも影響を示さなかった. Fe は 0.5 mg の共存で負の影響を示したが, 1,10-フェナントロリン, チオ尿素, フッ化アンモニウムなどをマスキング剤として添加することにより, Fe 50 mg の共存下でも Ru の定量が可能となった.

3・6 実試料への応用

河川水, 海水などの幾つかの水試料に本法を適用した結果を Table 4 に示す. なお, 各試料溶液はメンブランフィルター (孔径 0.45 μm) で濾過した後に使用した. 本法により, 金属めっき工場廃液から微量の Ru が検出されたが, 他の試料溶液からは Ru は検出されなかった. 更に, 各水試料溶液に Ru を一定量添加し, その回収率を調べたところ, いずれも満足できる値が得られ

た。又、これらの実試料について Formento ら¹³⁾の方法を適応したところ、本法の結果と同様の結果が得られた。

以上、本法は操作も簡便であり、水試料中の微量 Ru の定量に十分適応できるものとする。

(1995 年 9 月, 日本分析化学会)
(第 44 年会において一部発表)

文 献

- 1) F. E. Beamish: *Talanta*, **14**, 1133 (1967).
- 2) F. E. Beamish, C. L. Lewis, J. C. Van Loon: *Talanta*, **16**, 1 (1969).
- 3) M. Bressan, A. Morvillo, G. Romanello: *J. Mol. Catal.*, **77**, 283 (1992).
- 4) W. P. Griffith: *Chem. Soc. Rev.*, **1972**, 179.
- 5) J. E. Allan: *Spectrochim. Acta*, **18**, 259 (1962).
- 6) K. Motojima, K. Takemura: *Anal. Chim. Acta*, **183**, 217 (1986).
- 7) J. M. Scarborough: *Anal. Chem.*, **41**, 250 (1969).
- 8) B. Montford, S. C. Cribbs: *Anal. Chim. Acta*, **53**, 101 (1971).
- 9) 相原将人, 木ト光夫: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **30**, 390 (1981).
- 10) Z. Aneva, S. Arpadjan, I. Kaladjieva: *Anal. Chim. Acta*, **236**, 385 (1990).
- 11) M. Hoashi, R. P. Brooks, R. D. Reves: *Anal. Chim. Acta*, **232**, 317 (1990).
- 12) R. G. Megarritty, B. D. Siebert: *Analyst* (London), **102**, 95 (1977).
- 13) M. L. Formento, S. Spadacini, R. Ceserani: *Analysis*, **22**, 158 (1994).
- 14) G. Schmiedel, E. Manka, H. J. Ache: *Fresenius' Z. Anal. Chem.*, **335**, 195 (1989).
- 15) 奥谷忠雄, 大石保雄, 内田圭一, 新井信正: 日本化学会誌, **1986**, 853.
- 16) W. A. Embry, G. H. Ayres: *Anal. Chem.*, **40**, 1499 (1968).
- 17) 久保田敏夫, 上田俊夫, 奥谷忠雄: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **33**, 633 (1984).
- 18) Y. Sakaki: *Anal. Chim. Acta*, **98**, 335 (1978).
- 19) 木村 優: ぶんせき (*Bunseki*), **1981**, 297.
- 20) 奥谷忠雄, 鶴沢 惇: 分析化学 (*Bunseki Kagaku*), **44**, 663 (1995).

要 旨

Ru は 2,4,6-トリ-2-ピリジル-1,3,5-トリアジン (以下, TPTZ と略記) と錯体を生成する。この TPTZ を担持した活性炭 (以下, TPTZ-AC と略記) を用いて、水試料中の微量 Ru を吸着させた後、少量の水に分散させ、その懸濁液の一部を直接黒鉛炉に注入し、原子吸光測定する。用いる黒鉛管について検討した結果、未処理黒鉛管に比べ、Ce 処理黒鉛管及び Pd 処理黒鉛管が、それぞれ、未処理黒鉛管の約 2.5 倍、約 2 倍の吸光値を示したが、パイロ処理黒鉛管は約 5 倍の最も高い吸光値を示し、繰り返し精度も良好であった。Ru は pH 6.0~8.0 の範囲で TPTZ-AC に短時間で定量的に吸着した。本法の定量限界は Ru $0.08 \mu\text{g}/100 \text{ cm}^3$ ($S/N \geq 3$)、すなわち 0.8 ppb である。Ru 1.0 及び $0.5 \mu\text{g}$ を含む試料溶液についての繰り返し精度 ($n=5$) はそれぞれ、4.1, 4.7% である。Ru の定量時に Co, Cu など多くの金属イオンは 10 mg 程度共存しても妨害しないが、Fe の共存は負の影響を示した。しかし、1,10-フェナントロリン、チオ尿素、フッ化アンモニウムなどの添加により、Fe 共存下でも Ru の定量が可能となった。本法を水試料中の微量 Ru の定量に応用した。