

JAERI-Tech
2002-025



JP0250139



サマリウム-153製品の比放射能測定技術の検討-I
吸光光度法によるサマリウム定量技術の検討

2002年3月

出雲 三四六・根本 正弘*

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問い合わせは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

サマリウム-153 製品の比放射能測定技術の検討-I
吸光光度法によるサマリウム定量技術の検討

日本原子力研究所東海研究所研究炉部
出雲 三四六 ・ 根本 正弘*

(2002年1月23日受理)

癌治療に用いられるサマリウム-153の比放射能測定に関し、製品のサマリウムの簡便な定量技術を検討した。この方法は、アルセナゾⅢを利用した吸光光度法である。照射済の酸化サマリウム試料を1M塩酸に溶解したのち、その一部を採取してpH3.2でアルセナゾⅢと混合し、混合液の652nmにおける吸光度を測定した。その結果、サマリウムのモル吸光係数は $6.6 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ で、繰り返し分析精度は約2%であった。また、製品の製造中に混入しやすい鉄、亜鉛、銅等の不純物の分析に与える影響を明らかにした。

Determination of Specific Radioactivity of Samarium-153 Product - I
Quantitative Determination of Samarium by Spectrophotometry

Mishiroku IZUMO and Masahiro NEMOTO*

Department of Research Reactor
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received January 23, 2002)

On the specific radioactivity of Sm-153 for the radiotherapy of cancers, a simple method for determination of the amount of Sm was described. The method used ArsenazoIII as a colorimetric reagent. The sample irradiated in the reactor was dissolved in 1M HCl solution. A small part of it was taken and mixed with ArsenazoIII at pH 3.2, and the amount of Sm was determined by the spectrophotometric method at a wavelength of 652 nm. The molar absorptivity of Sm at 652 nm was $6.6 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$. The error of measurement in the partial different conditions was about 2% of the value determined. The effects of impurities, Fe, Zn and Cu mixing in the Sm during operation, were clarified.

Keywords : Specific Radioactivity, Sm-153 Product, Sm Determination, Arsenazo III, Spectrophotometry, Molar Absorptivity, Impurities

* Tokyo Nuclear Service Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 分析の考え方と方法	1
2. 1 考え方	1
2. 2 方法	2
3. 検討結果	2
4. 最適分析条件	4
5. サマリウムの定量分析手順	5
6. おわりに	5
謝辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Consideration and Experimental	1
2. 1 Consideration	1
2. 2 Experimental	2
3. Results	2
4. Optimum Analytical Conditions	4
5. Procedures for Quantitative Analysis of Samarium	5
6. Conclusion	5
Acknowledgements	6
References	6

This is a blank page.

1. はじめに

サマリウム-153 (^{153}Sm) は半減期 46.27 時間で β 崩壊 (0.808 MeV) し、癌治療用の放射線医薬品研究開発の核種として需要がある。 ^{153}Sm 製品には他の R I 製品と同様に、元素重量当りの放射能 (比放射能: Bq/g) を付している。この比放射能について、これまでは標準試料法で定めていた。すなわち、比放射能測定用の標準試料 (約 2 mg) と製品用試料 (約 20 mg) を同時に同一照射キャプセルに入れて原子炉で照射し、照射後に標準試料の放射能を試料の重量で除して製品の比放射能としていた。しかし、この方法では、実際の製品の比放射能と標準試料から求めた比放射能の差違が 50% 近くになる例もあり、早くからこの問題は指摘されていた。第 1 の問題は、サマリウム同位体の中性子反応断面積に起因するものである。すなわち、 ^{153}Sm は天然サマリウム中の ^{152}Sm (26.7%) の中性子捕獲反応 (207 barn) ¹⁾ により生成するが、天然サマリウム中には、大きな中性子捕獲断面積を有する ^{149}Sm (13.8%、40,300 barn) が含まれている。このため、原子炉の中性子束が均一であっても、 ^{149}Sm の遮蔽効果により試料量とその形状がサマリウムの中性子捕獲反応に大きな影響を与える恐れがある。さらには、試料の表面と内部とでさえ比放射能に差違が生じる可能性もある。

第 2 は、 ^{153}Sm の β 放射能測定における測定誤差である。 β 線は物質に吸収されやすいため、放射能測定の際に、試料の化学的状態 (粉末又は溶液等) や物理的状態 (大粒又は微粉末等) により差違が生じ易い。

アイソトープ研究開発課は、上述の 2 問題を解決するには、(1) 照射済試料 (製品) 中のサマリウム定量技術の確立、及び (2) その ^{153}Sm 放射能測定技術の確立が必要であると考え検討を行った。そのうち、本報告は当課が利用する分析機器とその精度を最大限に生かした「吸光光度法によるサマリウム定量技術の検討」に関するものである。

2. 分析の考え方と方法

2. 1 考え方

希土類の定量分析法には、吸光光度法、原子吸光光度法、フレイム発光法及び発光分析法等がある ²⁾。しかし、試料が放射性であり、また当課で利用できる分析機器 (島津製自記分光光度計 MPS-2000) の性能を勘案し、吸光光度法による分析方法を検討した。

サマリウムの定量に適する発色剤にはアルセナゾ I、アルセナゾ III 等 ²⁾ がある。このうちアルセナゾ III は、代表的なキレート試薬であり、これまでウラン、トリウム中の希土類金属元素等の不純物分析に利用されており、また安定性に優れていることが知られている ^{3,4)}。そこで、本発色試薬を利用する定量技術を検討した。

本分析技術の検討においては、サマリウム濃度を測定するために、最小量の採取により、繰り返し分析精度が 1~2% の定量分析技術の確立を目標とした。

2. 2 方法

使用した試薬、調製法及び分析手順は以下のとおりとした。

(1) 試薬

サマリウム分析標準溶液：和光純薬製、 $\text{Sm}(\text{NO}_3)_3$ in 1 M(mol/l) · HNO_3 原子吸光用サマリウム標準液(1,000 ppm)

アルセナゾⅢ：和光純薬製、 $\text{C}_{12}\text{H}_{18}\text{As}_2\text{N}_4\text{O}_{14}\text{S}_2$

鉄、ニッケル、コバルト：和光純薬製の原子吸光用標準液(1,000 ppm)

亜鉛及び銅溶液 鉄、 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の 0.1 M HNO_3 溶液

ニッケル、 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ の 0.1 M HNO_3 溶液

コバルト、 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ の 0.1 M HNO_3 溶液

亜鉛、 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ の 0.1 M HNO_3 溶液

銅、 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ の 0.1 M HNO_3 溶液

緩衝溶液：和光純薬製の特級試薬で調製⁵⁾、各緩衝溶液の組成を Table 1 に示す。

(2) 0.1%アルセナゾⅢ水溶液の調製

アルセナゾⅢ 0.1 g を水に溶解し 100 ml に定容した。

(3) 金属イオン溶液の調製

サマリウム標準試料：エッペンドルフピペットで所定量を採取した。

鉄、ニッケル、コバルト：それぞれの標準溶液 1,000 ppm からエッペンドルフピ
亜鉛及び銅溶液 ペットで所定量を採取した。

(4) 緩衝溶液の調製

Table 1 に示す A 液をベースにして B 液を加え、目的とする pH に調節した。

(5) 分析手順

サマリウム標準試料をエッペンドルフピペットでメスフラスコへ採取した。これにサマリウム標準試料と同じモル濃度の水酸化ナトリウム溶液を同量加えて中和した。さらに所定の緩衝液と 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を加えたのち、水で全量を 50 ml に定容して振り混ぜ静置し、これを測定試料とした。当該試料の一部を 1 cm 角のガラスセルに分取し、吸光度を測定した。

3. 検討結果

吸光光度法に与える分析誤差の要因には、①液性 (pH、試薬量等)、②呈色時間、③妨害元素、④温度等があり、詳細に検討した。このうち④温度は分析を一定室温で行うことで特に検討しないこととした。

(1) スペクトルの検討

吸光光度計でサマリウム定量に適する波長を検討した。サマリウム標準試料とブラ

ンク試料について、波長 190～700 nm までの吸収スペクトルを測定した。結果を Fig. 1 に示す。サマリウム標準試料①に 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を加えると紫色の錯体を形成し、それは 652 nm に吸光度の極大を示している。ブランク試料②に 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を加えた混合溶液は赤紫色を示し、539 nm に吸光度の極大を示している。一方、652 nm の吸光度は測定波長領域の中で最も低い吸光度を示している。したがって、652 nm を本実験の測定波長とした。

(2) アルセナゾⅢの必要量

アルセナゾⅢの最小必要量を検討した。結果を Fig. 2 に示す。この結果から、段階的に調製したサマリウム標準試料は 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を 0.9 ml 添加したときに初めて直線性が示されていることがわかる。したがって、サマリウム量 100 μg に対して必要な 0.1%アルセナゾⅢ水溶液の最小必要量は 0.9 ml であると判断し、これ以降の実験ではサマリウム量 100 μg に対して 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を 1 ml の割合で加えることにした。

(3) 緩衝溶液の液性の検討

酸性 pH 領域が本分析法に適することが報告されている³⁾⁴⁾。そこで使用に適する緩衝溶液と、その pH を検討することにした。検討した各種緩衝溶液の組成と pH 領域を Table 1 に示す⁵⁾。また、pH と吸光度の関係を Fig. 3 に示す。アルカリ領域ではブランク試料の吸光度が増大し、サマリウム標準試料の吸光度は減少する傾向を示した。これに対して、pH 6 以下ではサマリウム標準試料の吸光度は上昇し、定量分析に適することがわかった。また、緩衝溶液を比較すると酢酸ナトリウム・酢酸系の吸光度が他の緩衝溶液より吸光度が高いことが明らかになった。そこで酢酸ナトリウム・酢酸系の緩衝溶液の pH の影響を詳細に検討した。結果を Fig. 4 に示す。吸光度は pH が 3.2 で極大を示した。これにより以降の実験では pH 3.2 の酢酸ナトリウム・酢酸系の緩衝溶液を分析に使用した。

(4) 呈色時間の検討

測定試料の呈色時間を検討した。結果を Fig. 5 に示す。吸光度は 20～300 分の間安定している。この結果から、分析操作は 300 分以内に完了すれば吸光度の変化等の問題が無いことがわかった。

(5) 妨害元素の検討

ユウロピウムの影響

放射化した ^{153}Sm が崩壊して生成するユウロピウム (Eu) の影響を検討した。結果を Fig. 6 に示す。サマリウムとユウロピウムはほぼ同等の吸光度を示す。しかし、現行の照射条件におけるユウロピウムの生成量はサマリウムの約 $5 \times 10^{-4}\text{wt}\%$ と算出されることから、サマリウムの定量分析に与える影響は小さいと判断した。

むしろ、出発物質の精製が重要であろうと思われる。

その他の元素の影響

^{153}Sm 製品の製造はホットセル内で行われるため、装置の錆やダストに起因する試料の汚染がサマリウムの定量に影響する恐れがある。そこで、鉄、ニッケル、コバルト、亜鉛及び銅等がサマリウムの定量に与える影響を検討した。結果を Fig. 7 に示す。図示のように、銅は僅かに発色し、分析にも僅かな誤差を生じさせる。鉄

は顕著に発色し、鉄の混入は分析に大きな誤差を生じさせることがわかった。その他のニッケル、コバルト、亜鉛については殆ど発色せず、分析に誤差を生ずることはないと言える。

^{153}Sm 製品の製造と分析にあたっては、鉄、銅等の混入を避けるよう留意する必要がある。

(6) 分析誤差の検討

検量線の直線範囲と定量範囲

吸光度測定は、なるべく 0.03~1.0 程度の吸光度で行うことが望ましい⁶⁾。しかし、濃度の高い試料の場合を想定して、検量線の直線範囲を検討する必要がある。Fig. 8 には、0.1%アルセナゾⅢ水溶液 4 ml を添加した場合における吸光度を、最大 300 μg のサマリウム量について示した。この範囲内で良好な直線性が得られているが、吸光度として約 1.3(透過率 5%)を定量上限の目安とすれば、図の回帰直線式から定量の範囲は 150 μg 以下となる。

繰り返し分析精度

繰り返し分析精度の検討結果を Table 2 に示す。この結果から、各サマリウム量に対する吸光度のばらつきの目安である変動係数(CV)は、2%以下であり、吸光度法は精度の高いサマリウム定量法であることが示された。

4. 最適分析条件

本検討から得られた吸光度法の最適な分析条件は次のとおりである。

(1) 測定波長と pH

0.1%アルセナゾⅢ水溶液を加えて発色させた試料の測定波長は 652 nm が最適で、pH を 3.2 に調節した 0.1 M 酢酸ナトリウム・酢酸緩衝溶液が最適である。この定量法でのモル吸光係数は $6.6 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ である。

(2) 発色試薬の量

サマリウム量 100 μg に対して 0.1%アルセナゾⅢ水溶液を 1 ml の割合で加えることにした。このことからサマリウムの定量範囲の最大を 150 μg とすると、0.1%アルセナゾⅢ水溶液は 1.5 ml を加えればよいが、本実験では鉄、銅等の不純物が混入した場合を考慮して、加える量を 2 ml にした。

(3) 分析時間

0.1%アルセナゾⅢ水溶液を加えて発色させた後、吸光度測定は 300 分以内で行うのが望ましい。

(4) 妨害元素の影響

製造と分析の際は、鉄、銅等の錆の混入に注意する必要がある。また、出発物質へ

のサマリウム以外の希土類金属元素の混入を極力避ける必要がある。

5. サマリウムの定量分析手順

ホット試験では、分析者の不要な被曝を極力少なくするために、迅速な分析操作を行うことと、取り扱うホット試料を少なくすることが必要であると考えている。そのために実験では最終液量を 50 ml にしたが、ばらつきの少ない定量法であることも考慮に入れて、その最終液量を 25 ml にし、それに併せて発色試薬等の加える量も半分にした。

試薬の調製

サマリウム分析標準溶液：和光純薬製、原子吸光用サマリウム標準液(1,000 ppm)を使用。

緩衝溶液：酢酸ナトリウム三水和物 27.2 g を水 500 ml に溶解し酢酸を加えながら pH 計で 3.2 に調節し 1 l に定容する。

水酸化ナトリウム溶液：水酸化ナトリウム 4 g を水に溶解し 100 ml に定容する。

0.1%アルセナゾⅢ水溶液：アルセナゾⅢ 0.1 g を水に溶解し 100 ml に定容する。

分析操作

本検討結果をふまえ、 ^{153}Sm 製品のサマリウム濃度を求めるホット試験の分析操作を次のように行うこととした。

① 照射試料の溶解

照射済試料（約 20 mg）は、1 M 塩酸 6.5 ml に加熱して溶解し、照射済試料溶液とする。

② 分析試料の調製

25 ml メスフラスコに照射済試料溶液から適量を採取し、1 M 水酸化ナトリウム溶液中で中和する。この中和液と 5 ml の緩衝溶液を混合する。さらに、当該混合液に 0.1% アルセナゾⅢ水溶液 1 ml を加えて水で 25 ml に定容し振り混ぜて、静置する。

③ 吸光度の測定

吸光光度計の波長を 652 nm に設定し、吸光度を測定する。上と同様の手順でサマリウム標準溶液により検量線を作成し、吸光度の比較から、試料のサマリウム濃度を得る。

6. おわりに

吸光光度法でサマリウムを分析するときに影響を与える要因について詳細に実験を行った。その結果、最適な分析条件を求めることができ、吸光光度法によるサマリウム定量技術を確立することができた。本定量法での繰り返し分析精度を求めた結果は 2% 以下の安定した結果となった。このことから、本実験で使用した発色試薬のアルセナゾⅢは発色が安定しており、優れた発色試薬であると言える。また、本定量

法のモル吸光係数は $6.6 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ であり、この値は希土類金属元素に対する報告値³⁾⁴⁾より高い結果となった。本定量法では測定波長を 652 nm としているが希土類金属元素の報告³⁾⁴⁾では 660 nm の測定波長を採用している。この測定波長の違いがその理由の 1 つと考えている。

本定量法の特徴は、 ^{153}Sm 製品のサマリウム濃度を簡便で、かつ迅速に定量できることである。この定量法の確立に引き続き放射能濃度測定技術を確立し、正確な比放射能(Bq/g)を得るべく、実験を継続する。

謝辞

本技術開発にあたり、放射能測定等の協力助言を頂いたアイソトープ研究開発課の岩本清吉氏、国際原子力総合技術センターの櫛田浩平氏及び元計量技術課の竹内紀男氏に感謝いたします。また、元計量技術課の大久保昌武氏、小野間克行氏のコメントに厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所核データセンター. JENDL-3.2 (1994)
- 2) 日本分析化学会編. 分析化学便覧. 改訂三版. 丸善、p.65、(1981)
- 3) S. B. Savvin, "Analytical use of Arsenazo III, Determination of thorium, zirconium, uranium and rare earth elements", *Talanta*, 8, 673-685 (1961)
- 4) H. Onishi and K. Sekine, "Spectrophotometric determination of zirconium, uranium, thorium and rare earths with Arsenazo III after extractions with thenoyltrifluoroacetone and tri-n-octylamine", *Talanta*, 19, 473-478 (1972)
- 5) 日本化学会編. 化学便覧基礎編 II. 丸善、p.1312、(1966)
- 6) 労働省安全衛生部労働衛生課編. 作業環境測定ガイドブック (2). 特定化学物質・金属類関係. 新日本印刷株式会社、p.78、(1993)

Table 1 緩衝溶液組成とpH値⁵⁾

pH	A液	B液
2.74	0.2 M 塩化カリウム	0.2 M 塩酸
3.43	0.1 M 酢酸ナトリウム	酢酸
3.45	0.1 M クエン酸水素カリウム	0.1 M 塩酸
3.85	0.1 M クエン酸ナトリウム	0.1 M 塩酸
5.20	0.1 M 酢酸ナトリウム	酢酸
7.54	0.1 M リン酸二水素カリウム	0.05 M 四ほう酸ナトリウム
9.84	0.05 M 四ほう酸ナトリウム	0.05 M 炭酸ナトリウム
11.42	0.1 M リン酸水素二ナトリウム	1 M 水酸化ナトリウム

Table 2 繰り返し分析精度

S m量 (μ g)	0	25	50	75
日付	吸光度			
11/14	0.071(0)	0.288(0.217)	0.499(0.428)	0.723(0.652)
11/17	0.069(0)	0.289(0.220)	0.503(0.434)	0.739(0.670)
11/18	0.063(0)	0.282(0.219)	0.505(0.442)	0.735(0.672)
11/19	0.067(0)	0.286(0.219)	0.504(0.437)	0.730(0.663)
11/25	0.069(0)	0.286(0.217)	0.510(0.441)	0.727(0.658)
11/26	0.067(0)	0.293(0.226)	0.509(0.442)	0.746(0.679)
11/28	0.061(0)	0.285(0.224)	0.514(0.453)	0.742(0.681)
12/12	0.063(0)	0.281(0.218)	0.507(0.444)	0.732(0.669)
平均		(0.2200)	(0.4401)	(0.6680)
σ_{n-1}		0.003295	0.0073957	0.0099427
変動係数(CV(%))		1.50	1.68	1.49

() 内はブランク値を差し引いた値である。

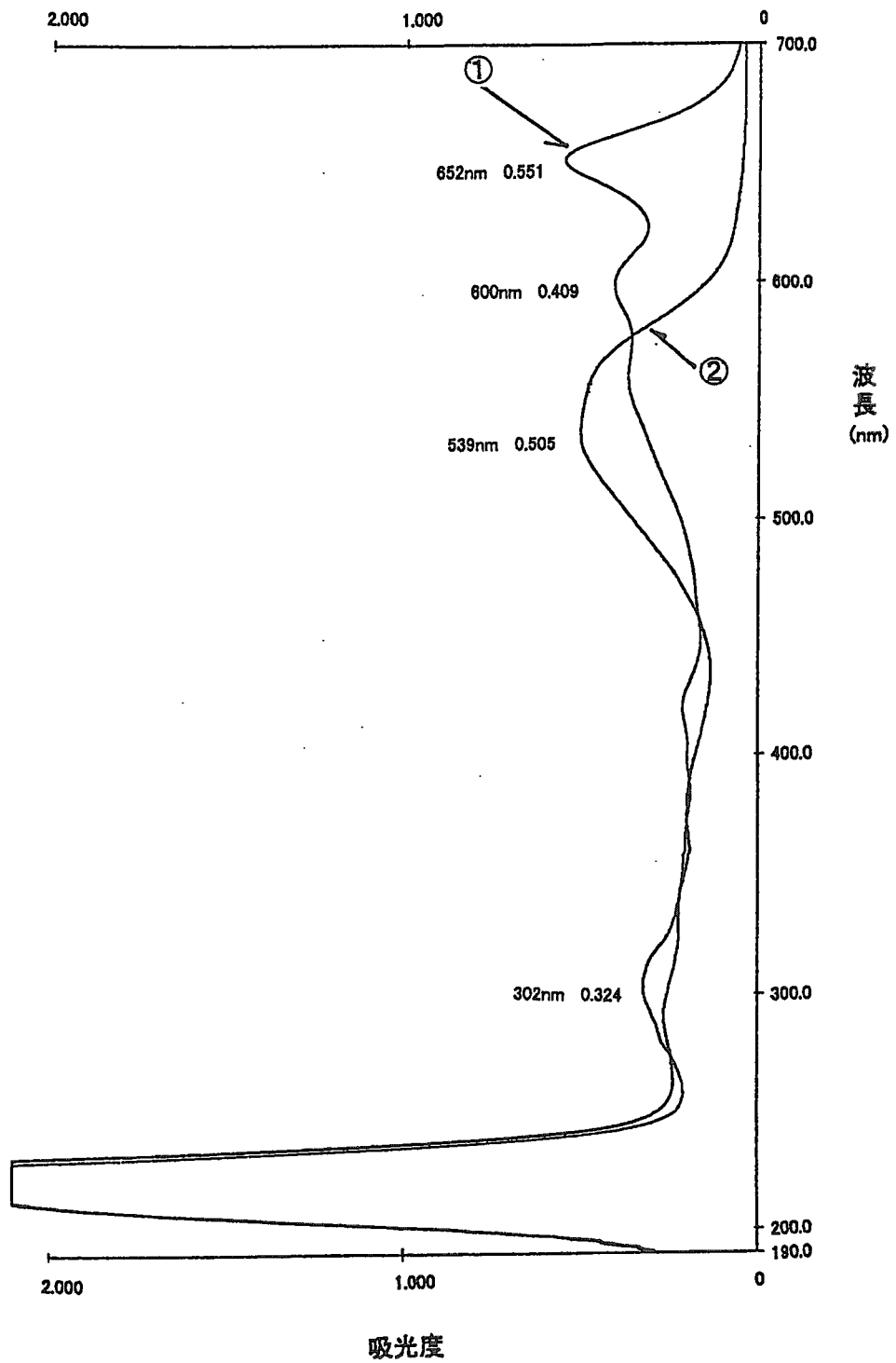


Fig. 1 吸収スペクトル

- ① サマリウム標準試料 : サマリウム50 μ gに0.1%アルセナゾⅢを加え、pH3.4に調節して50 ml定容
- ② ブランク試料 : 0.1%アルセナゾⅢを加え、pH3.4に調節して50 mlに定容

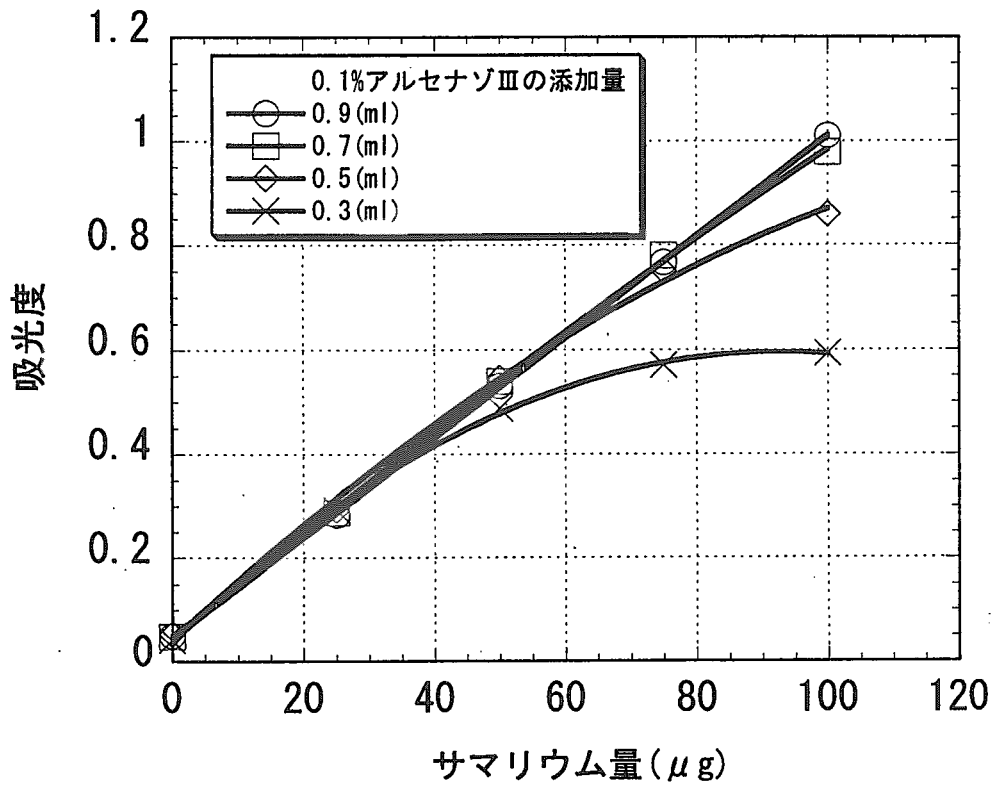


Fig. 2 サマリウム量に対するアルセナゾⅢの必要量と吸光度の関係

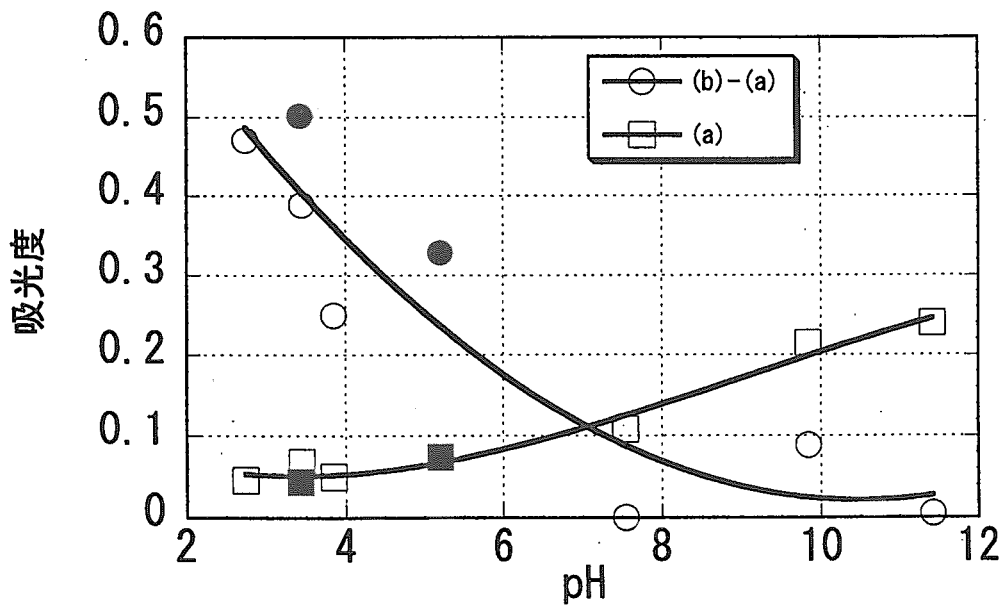


Fig. 3 サマリウムの吸光度とpHの関係

- (a) ブランク試料
- (b) サマリウム標準試料、50 μg/50 ml
- は、酢酸ナトリウム-酢酸系
- は、その他の緩衝溶液

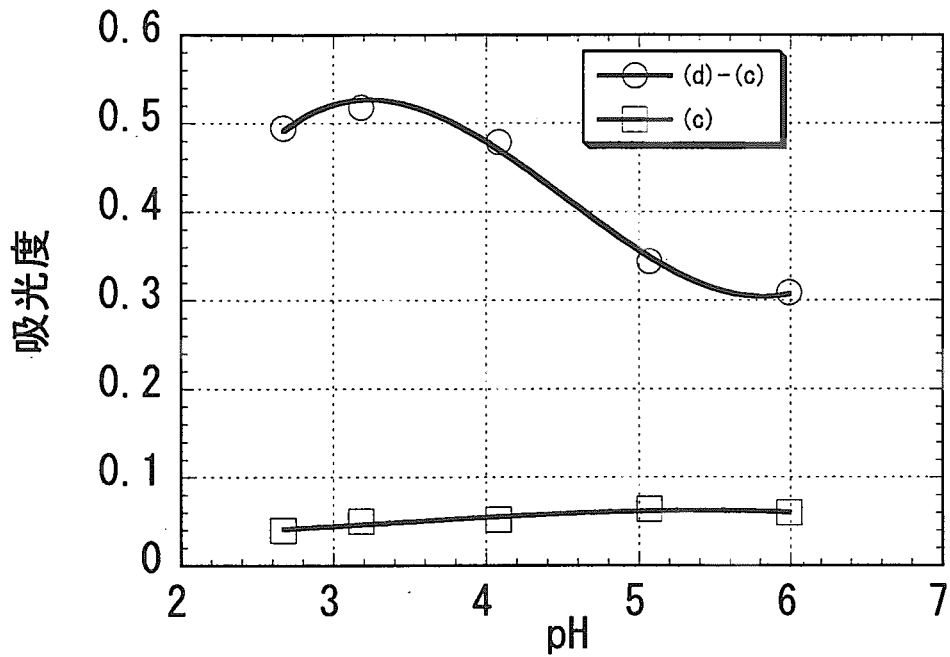


Fig. 4 酢酸ナトリウム-酢酸緩衝液を用いたサマリウムの吸光度とpHの関係

(c) ブランク試料

(d) サマリウム標準試料、50 μ g/50 ml

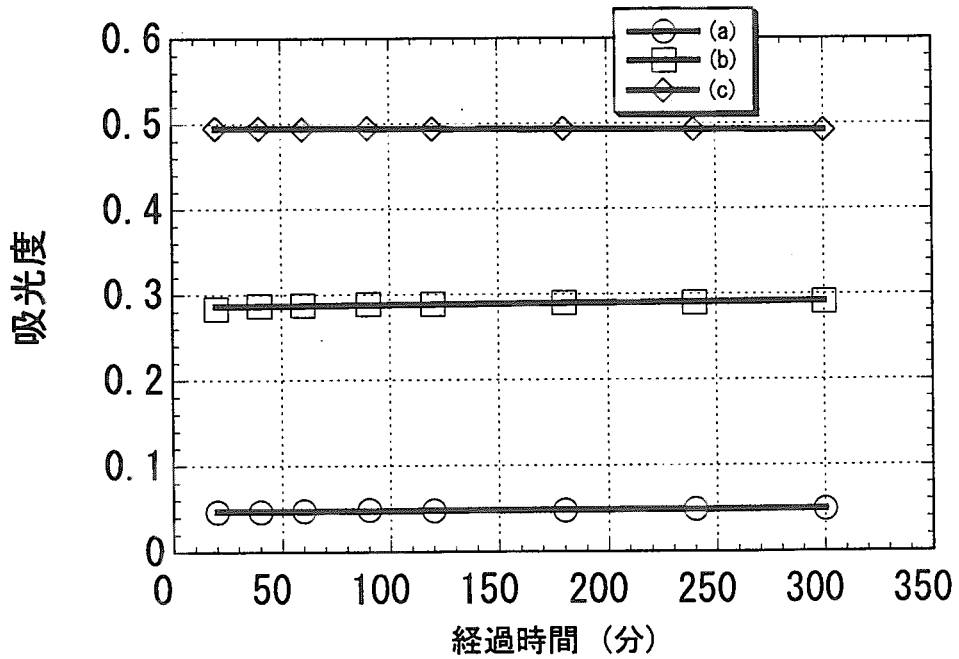


Fig. 5 アルセナゾⅢの呈色時間

(a) ブランク試料

(b) サマリウム標準試料、25 μ g/50 ml

(c) サマリウム標準試料、50 μ g/50 ml

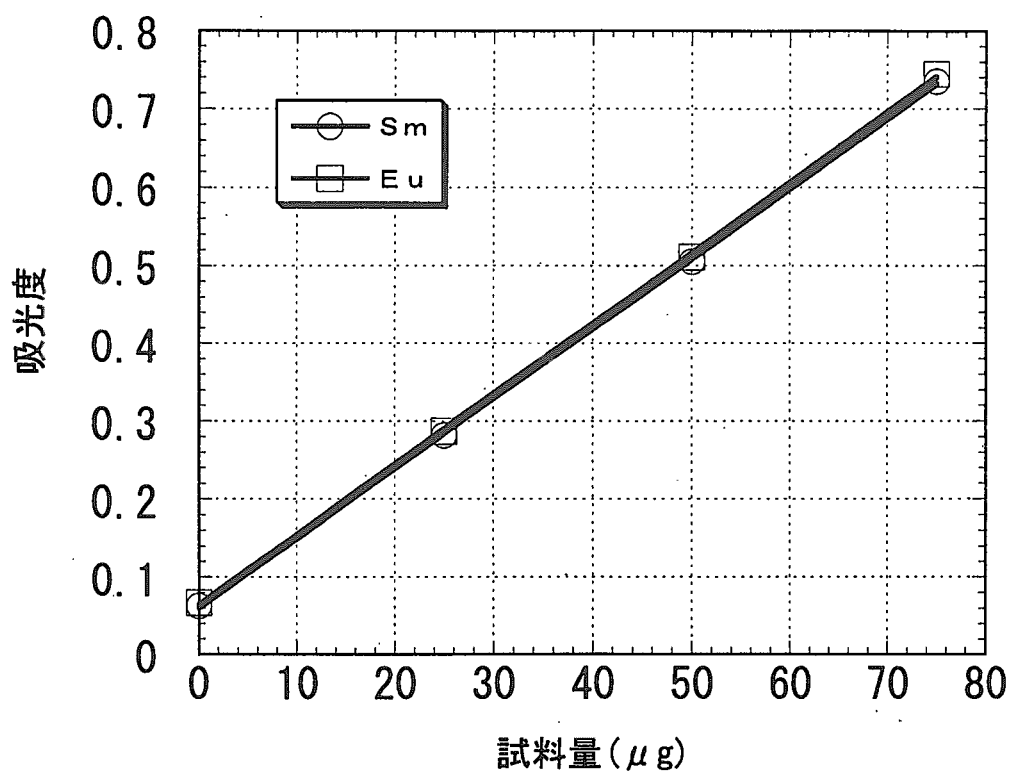


Fig. 6 ユロピウムとサマリウム
の吸光度の比較

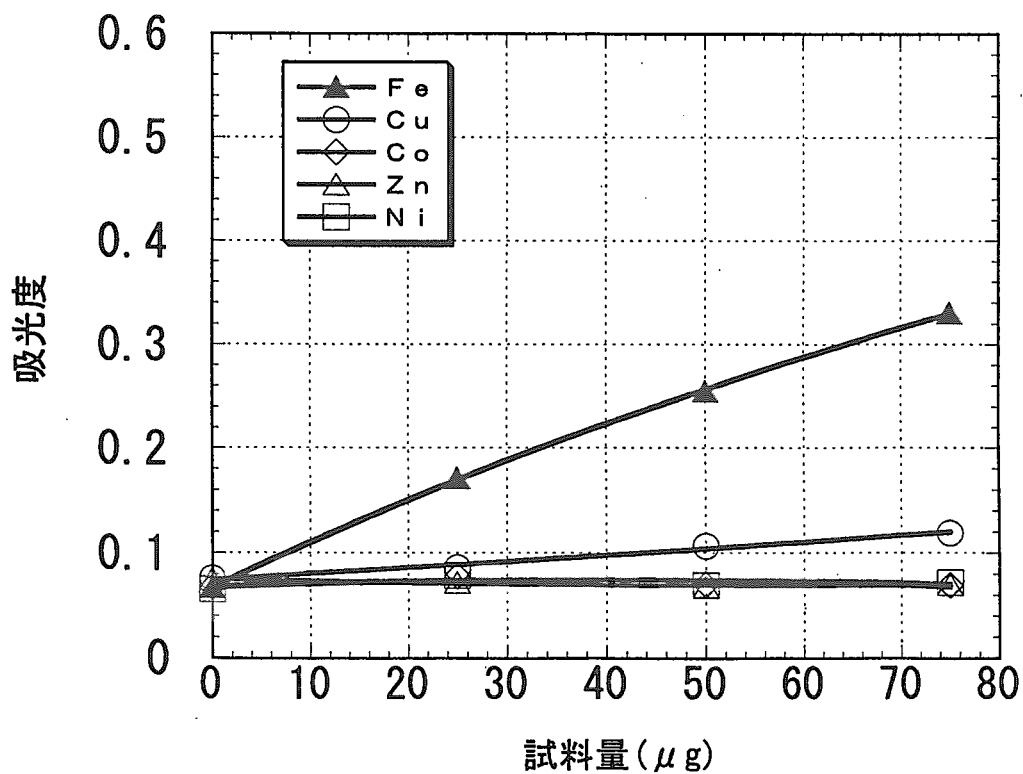


Fig. 7 不純物元素の吸光度の検討

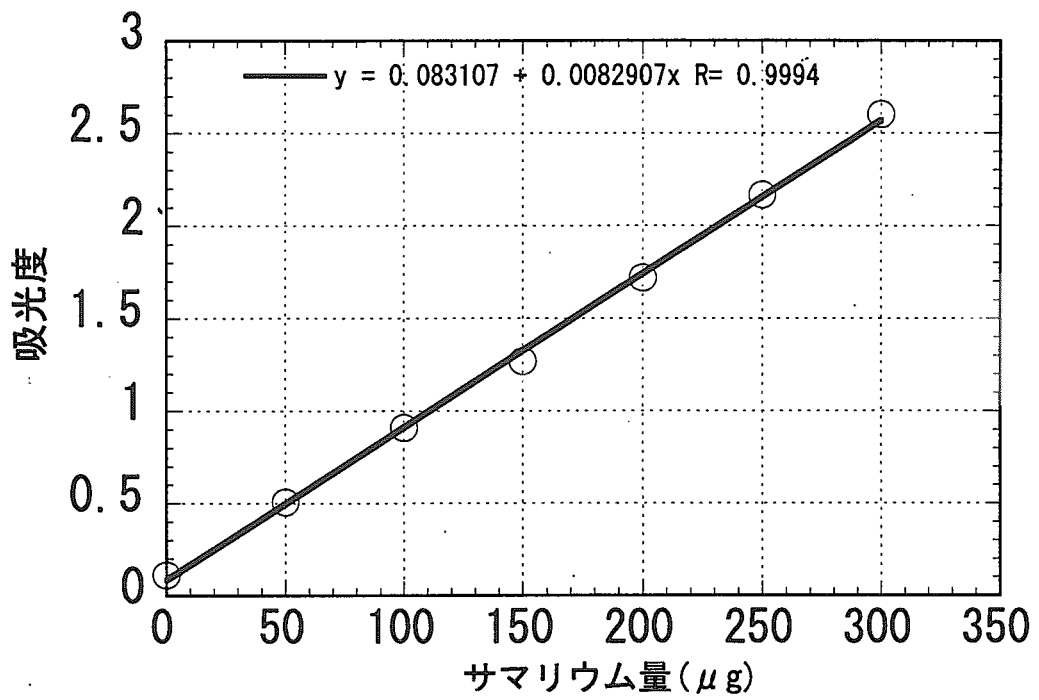


Fig. 8 検量線の直線範囲

0.1%アルセナゾⅢの添加量 : 4 ml

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N·m
工率, 放射束	ワット	W	J/s
電気量, 電荷	クーロン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラド	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V
磁束	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束	ルーメン	lm	cd·sr
照射度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

1 eV = 1.60218 × 10⁻¹⁹ J
 1 u = 1.66054 × 10⁻²⁷ kg

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バ - ン	b
バ - ル	bar
ガ	Gal
キュリー	Ci
レントゲン	R
ラ	rad
レ	rem

1 Å = 0.1 nm = 10⁻¹⁰ m
 1 b = 100 fm² = 10⁻²⁸ m²
 1 bar = 0.1 MPa = 10⁵ Pa
 1 Gal = 1 cm/s² = 10⁻² m/s²
 1 Ci = 3.7 × 10¹⁰ Bq
 1 R = 2.58 × 10⁻⁴ C/kg
 1 rad = 1 cGy = 10⁻² Gy
 1 rem = 1 cSv = 10⁻² Sv

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1-5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局 1985年刊行による。ただし、1 eV および 1 uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクトールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N (=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘 度 1 Pa·s (= N·s/m²) = 10 P (ポアズ) (g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St (ストークス) (cm²/s)

圧	MPa (=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg (Torr)	lbf/in ² (psi)
	1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038
力	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²
	6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J (=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal (計量法)	Btu	ft·lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法) = 4.184 J (熱化学) = 4.1855 J (15 °C) = 4.1868 J (国際蒸気表)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸	
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹	
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁵	
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS (仏馬力) = 75 kgf·m/s = 735.499 W
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1	

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

サマリウム-153製品の比放射能測定技術の検討 I 吸光度法によるサマリウム定量技術の検討

R100

古紙配合率100%
白色紙70%再生紙を使用しています。