

〔研究〕

加圧型電離箱による 線核種放射能二次標準の確立

Establishment of the Secondary Standardization of Activities for γ -Ray Emitting Nuclides with a Pressureized Ionization Chamber System

梶野良穂 松井真 山田崇裕 竹内紀男
Y. HINO S. MATSUI T. YAMADA N. TAKEUCHI
小野間克行 岩本清吉 木暮広人 大久保昌武
K. ONOMA S. IWAMOTO H. KOGURE M. OHKUBO

The secondary standardization of activities for γ -ray emitting nuclides has been established with $4\pi\gamma$ ionization chambers and long half life reference sources. Two sets of well type chambers with same electrometers, and several sealed ^{166m}Ho ($T_{1/2} = 1200\text{y}$) sources were constructed to ensure the traceability of radioactive standards between ETL and JRIA (Japan Radioisotope Association). The linearity of output current to the source activity was tested using a short-life high-intensity source of ^{99m}Tc ($T_{1/2} = 6.02\text{h}$), starting from 300MBq and was measured over 80 hours until decayed to about 30kBq. The lower and upper limits of this systems were estimated through this experiment. The stability of these systems has been tested with ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27\text{y}$) and ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30\text{y}$). In this report, outlines of these new chamber systems and reference sources, and those test results were described.

§ 1 はじめに

放射能の単位はベクレル(Bq)であり、これは単位時間あたりに原子核が自ら α 線や β 線を放出して他の原子核に変化(壊変/秒)する数である。現在はこの様に物理的な現象に基づく定義であるが、放射能が発見されて間もない頃は、当時最も強力な放射線源であったラジウムの重さに比例するCi(キュリー)が単位として用いられていた。これは、「1グラムのラジウムと平衡にあるラドンの量」を1Ciとしたもので、1910年にラジウムの発見者であるマリーキュリーにちなみ定められた。その後の測定で、1Ciあたりの壊変数が、 3.7×10^{10} 程度の数値に落ちてきたことから、1951年にICRU(国際放射線単位委員会)により、1Ciは 3.7×10^{10} 壊変/秒を表す単位として再定義された。その後、SI単位系への移行に伴い、現在のBqがSI単位系に組み入れられている。計量法においても、平成4年の改正において、政令で定める「物質の状態の量」に、このBqが放射能の単位として採用され、関連する単位規則(省令)においては、粒子フルエンス(率) $\text{m}^{-2}(\text{s}^{-1})$ 、放射能面密度 Bq/m^2 、放射能濃度 Bq/m^3 、 Bq/kg がそれぞれ定められている。

電総研では、標準機関としてこれら単位の定義に出来るだけ忠実に、且つ精度良く値付けを行う必要がある。しかし、放射能と一口で言っても、崩壊様式は α 線を放出するもの、 β 線を放出するものと様々であり、しかも、そもそも崩壊過程が、量子論的確率過程であるため、もし厳密に1Bqを測定しようとしても、それが発生するか否かの確率となり、不確かさの範囲を狭めることは困難である。また、初期の単位であるCiが $3.7 \times 10^{10}\text{Bq}$ であったことから想像がつく様に、主な利用分野である医療や滅菌照射ではTBq ~ PBqレベルにも及ぶ大強度の線源が使用されている反面、環境放射能ではmBq/gと、放射能の測定対象範囲は極めて広い。そこで、これまで電総研においては、4 - 同時測定法による絶対測定により、出来るだけ精度良く放射能の値付けを行い、その範囲の拡大には、加圧型電離箱やGe検出器等を用いて十分な信頼性と精度を保ちつつ、標準の供給を行ってきた¹⁾。これらの精度と国際的整合性は、既に多くの国際比較等により、確認されているところである²⁻⁶⁾。

一方、放射能に関しても認定事業者によるトレーサビリティ制度に沿った標準の供給体制確立が求められている。

KEY WORDS : 放射能標準, 加圧型電離箱, ^{166m}Ho 密封線源, トレーサビリティ

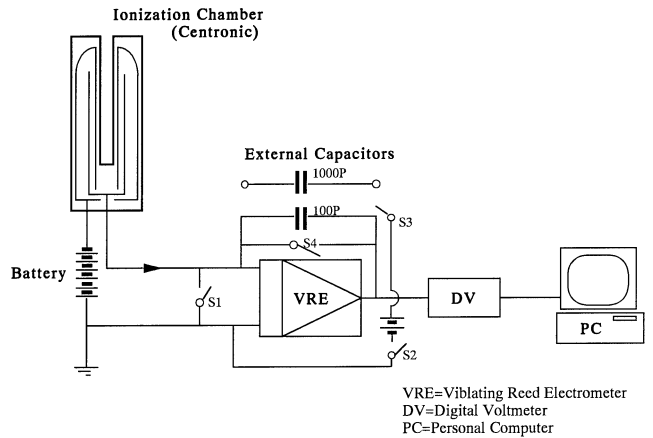
そこで、線を放出する核種については、一次標準は実績のある4 - 同時測定による絶対測定、二次標準としては、これまで標準の供給範囲拡大に使用し、信頼性の高い加圧型電離箱と基準線源を組み合わせた、相対測定による標準供給体系を考え、必要な機器とマニュアルの整備を開始した。ここでは、今回電総研と原研東海研究所及び日本アイソトープ協会が共同で試作した、特定二次標準器用加圧型電離箱と、その安定性を確認するための長半減期核種 (^{166m}Ho , $T_{1/2} = 1200$ 年) 線源の概要、及びこれら機器の特性試験結果について報告する。

§ 2 線核種と加圧型電離箱

一般に放射性核種は、線や線と言った荷電粒子を放出し、異なる核種に壊変するが、壊変後に余ったエネルギーは、線として放出される。このとき、放出される線のエネルギーは、崩壊先の原子核の励起準位間の差であり、核種毎に特有な線スペクトルを示す。また、線により放出される全エネルギーも核種毎に決まっているため、線測定のみで放射能を求めることが可能である。しかも、線は透過能力が大きいので、線源を密封した状態で測定出来る利点がある。

さて、電離箱は一定の空間に電位差を与え、放射線がその空間を横切る際に電離した電荷を集める装置である。線核種の放射能測定に用いられる電離箱は、測定効率を上げるため、線源を中心部に挿入する中空円筒型で、内部のガス圧を1~2MPa程度に加圧したものが主流である。内部に密封するガスは、窒素やアルゴン等の安定なものが選ばれている。図1にこれまで電総研で使用してきた電離箱システムの構造を示す。図2には、幾つかの内部ガスの種類や圧力の異なる電離箱の、線エネルギーに対する出力の変化を示す。この図で、IG11/A20とは、セントロニクス社の内径1インチ、アルゴン20気圧封入タイプである。同様にIG11/A10はアルゴン10気圧、IG12/N20とは、内径2インチ、窒素ガス20気圧封入タイプである。

この様な、線核種放射能測定用の加圧型電離箱は、密封した容器が物理的に変形したり、内部ガスが抜けなかり極めて安定で、電総研においても既に20年以上の運用経験があるが、いまだ出力の補正を必要としていない。さらに、図2でIG-11/A10とIG-11/A20の2本の曲線が非常に良い相関性を持っていることから分かる通り、たとえ電離箱の内部ガス圧が変化しても、レスポンスの形は変わらず、圧力の変化に比例して出力が変動するだけであることが示されている⁷⁾。このことは、電離箱の校正を長半減期の密封線源を用いて相対的な値付けとすれば、温度、気圧、バックグラウンドの変動、さらには電流計の読み値



Switch Sequence	S1	S2	S3	S4
Standby	ON	OFF	OFF	ON
Charge up Capacitor	ON	ON	ON	OFF
Measure	OFF	OFF	OFF	OFF

図1 従来電総研で使用してきた電離箱システム

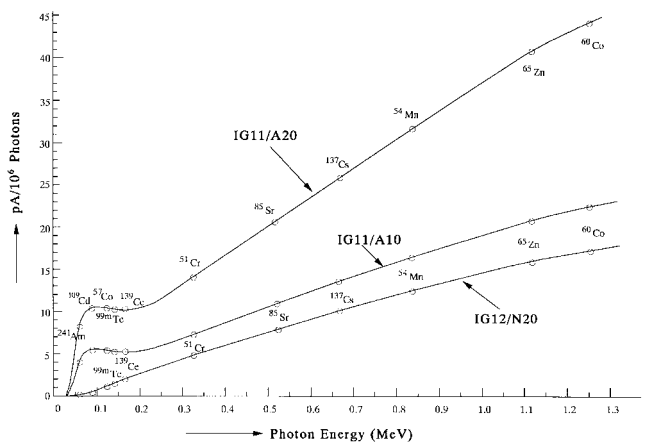


図2 幾つかの電離箱の、線エネルギーに対する出力

変化等の不可避的な変動を全てキャンセルし、標準器としてのシステムの安定性が保証されることになる。電総研でもこれまで電離箱の安定性を確認するため、半減期が1600年のラジウムの密封線源を基準として用いてきた¹⁾。しかしラジウムは、2MeV以上の高エネルギーの線を多数放出するため持ち運びを考えた遮蔽が困難である、最終的に安定な鉛になるまで5回の崩壊と4回の崩壊を経るため線源が安定するまで長い時間を必要とする、崩壊により線源内部にHeガスが蓄積される、途中でRn(ラドン)と言う不活性のガスに変化するため、線源からのラドンのリークの心配がきまとう等、幾つかの問題点がある。一方、近年入手可能となった ^{166m}Ho は、半減期が1200年と十分に長く、200keV付近を中心に線を放出する核種であるため遮蔽がしやすく、しかも崩壊であるので取り扱いやすい等の優れた特長がある。そこで、こ

の ^{166m}Ho を用いた密封線源を作成し、これを基準線源とした二次標準用電離箱システムを構築した。

§ 3 特定二次標準器用加圧型電離箱システムの基本設計

特定二次標準器として必要な要件は、安定性と簡便性である。即ち、一定の校正周期以内に測定結果が変動してはならない。また、測定マニュアルに従えば、特殊な技術や経験を持たずとも良好な結果が得られることが必要である。さらに、放射能標準の場合には、一次標準は4

同時測定による絶対測定で値付けされるが、測定可能な強度範囲は限られている。このため、さらに「十分な信頼性を持って、測定範囲が拡大できる」ことも必要な条件となる。

以上の要件を踏まえ、加圧型電離箱を試作した。形状は従来と同様の中空円柱状とし、内部に封入するガスは、線のエネルギーに対して比例関係が保てる窒素を選択した。また、電荷を集める集電極の構造はできるだけ単純な形状とし、あえて電離箱の外壁に直接高電圧を印可し、内部容積が100%有感部である構造とした。このため、塩化ビニールの絶縁カバーと線源挿入部にはアクリル製の保護カバーを付加する必要があったが、幾何学的に単純な構造としたことにより、計算機によるシミュレーションでレスポンス範囲の拡大を試みる等、今後の研究に役立つものと考えている。図3に今回試作した電離箱の断面図を示す。一方、電離箱の放射能強度に対する直線性を確保するため、電流測定システムも従来の空気コンデンサ蓄電方式

から、エレクトロメータによる直接読み取り方式に変更した。これまでの手法は、100pF及び1000pFの空気コンデンサに、集めた電荷を蓄積し、電位変化を非接触型のパイプレーティング・リードで読み出す方式である⁸⁾。この手法は、電流の絶対値を測定する場合には、非常に信頼度の高いものであるが、適当な容量の空気コンデンサが入手困難であり、しかもパイプレーティング・リード式のエレクトロメータは、需要が少ないため新規に開発されておらず、計算機によるコントロールやデータ取り込みに不便である等の欠点がある。

一方、二次標準器として使用する場合、基準となる長半減期の線源を測定し、続いて校正用資料を測定して相互の出力電流の相対値を求めるので、電流の絶対的確かさは不要で、測定値の直線的比例関係が確保されていれば十分である。むしろ、線源強度により、基準線源と異なるコンデンサに切り替える必要のある従来法よりは、ある意味では不確かさを減らすことが可能であると考えられる。これらの観点から、電流計にはKeithley社の6517を採用した。

§ 4 基準線源の製作

電離箱の出力安定性を保証するには、長半減期の密封線源が必要である。従来のラジウムには、前述の通り種々の問題があることから、本研究では半減期1200年の ^{166m}Ho を選択した。 ^{166m}Ho 線源は、塩化ホルミウム溶液の化学形で米国のIPL社より購入し、これを原研のアイソトープ利用開発室で密封線源に加工した。線源の長期安定性を図るため、溶液を外径9.4mm、高さ14mmの小さな石英ガラス製のるつぼに入れ、乾燥後、電気炉で500℃に加熱し、塩化ホルミウムから化学的に安定な酸化ホルミウム(Ho_2O_3)に変化させた。その後、アルミナの粉末をるつぼに堅く充填し、酸化ホルミウム粉末が動かぬよう固定し、るつぼごとステンレスのインナーカプセルに封入した。インナーカプセルの上部を機械的にかしめて缶詰め状としたものを、さらに外径15×27mmのチタン製の OUTERカプセルに入れ、OUTERカプセルの上部をプラズマ溶接して完全に密封した。線源作成に際し、先ず ^{165}Ho (安定同位元素)を用いて実際と同じ作業(コールドラン)を行い、ダミー線源を作成した。このダミー線源を用いて、JIS Z-4821に基づき、加熱、加(減)圧、衝撃、パンク試験等の密封線源として必要十分な試験を行った。一方、出来上がった個々の線源については、線源をビーカーで煮沸し、ふき取り試験と煮沸液の放射能測定を行い、漏洩の無いことを確認した。図4に今回製作した線源の断面図を示す。線源は、もともとの強度が3.7MBq以下であるので、その保持や移動は特段の許可を必要としないが、この図に示す

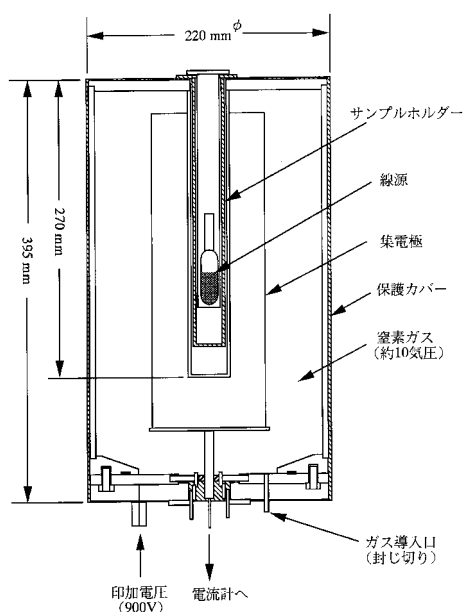


図3 今回試作した電離箱の断面図

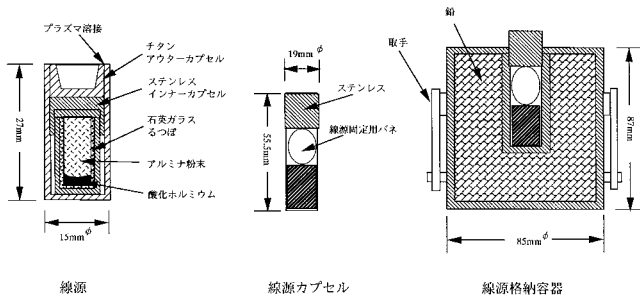


図4 ^{166m}Ho 密封線源の断面図及び格納容器

格納容器に入れた状態でGMサーベイメータを用いて実測した結果, 周辺線量率は, 容器直近で約 $8 \mu\text{Sv/h}$, 約 15cm 離れた所では約 $2 \mu\text{Sv/h}$ と, 保管や輸送における取り扱いで, これ以上の遮蔽を行う必要の無い線量であることが確認された。線源は, この図に示されたように, 3重の容器で密封されたうえ, さらに取り扱いを簡単にするためのホルダーに入れた状態で使用される。格納容器は, このホルダーを差し込むだけで, ワンタッチロック機能がある。全体の重量は約 3kg で, 容器ごと手で持ち運びが可能である。

§ 5 二次標準用加圧型電離箱の特性試験

5.1 出力の直線性試験

特定二次用の加圧型電離箱は, 全く同じ形状のものを2セット製作し, 電総研と日本アイソトープ協会に設置することとした。この電離箱を用い, 線源強度に対する出力の直線性の範囲を確認するため, 実際に放射能線源を用いて特性試験を試みた。測定試験は, 試作した電離箱システムを電総研の非密封実験室に並べて設置し, ^{99m}Tc (半減期6時間) の溶液をアンブルに封入し, 約 300MBq から, 30kBq まで, 80時間に亘り測定を繰り返し, 線源を入れた際の電離箱出力の変化が, 物理的な半減期による減衰に一致するかどうかを調べた。最大強度に於ける電流値は約 8nA で, 最終的に約5桁減衰した際の出力は 0.8pA であった。このことから, 加圧型電離箱は, 放射能強度に対して, 少なくとも5桁以上の直線性があることが確認された。図5に測定の結果を示す。

電離箱に於ける物理的な上限は, 電離密度が高くなり, 電離された電子とイオンが電極に到達する前に近くの他のイオン又は電子と再結合を生じ, 出力の直線性が保てなくなるところである。これは, 印可する電圧と電離箱のサイズにもよるが, 今回試作した程度の電離箱であれば, 数十 nA 程度までは全く問題がないと考えられる。ほぼ同程度のサイズで, ガス圧が2倍のBIPM/SIRの電離箱では, 100nA 程度から直線性のずれが見られるものの, 約 $1 \mu\text{A}$

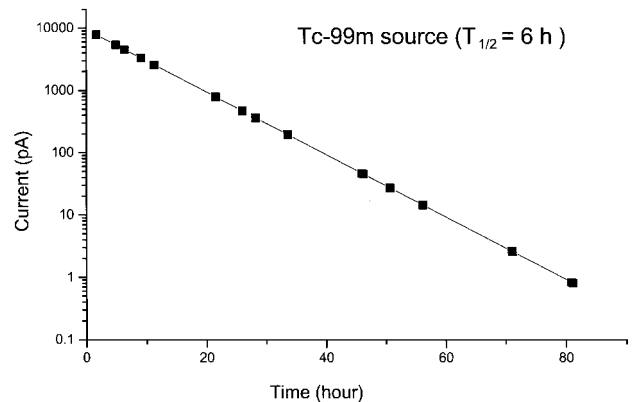


図5 ^{99m}Tc 線源による直線性試験

程度まで, 出力の連続した上昇が確認されている⁹⁾。一方, 測定下限は自然のバックグラウンドおよび電流計のダークカレントで決められる。今回選択したKeithley 6517は, 十分な予熱時間をかければ, ダークカレントは 0.01pA 以下であり, また自然界の放射能によるバックグラウンドも, 遮蔽体の中に電離箱を入れることにより, 0.03pA 程度に抑えられた。従って今回試作したシステムの物理的測定限界は $0.05 \text{pA} \sim 100 \text{nA}$ 程度であると推定される。今回の実験の結果, 少なくとも $0.8 \text{pA} \sim 8 \text{nA}$ の範囲の直線性が確認されているが, より広範囲の強度をカバーするため, 今後より大強度の線源を用いて, 限界値を実際に確かめる必要がある。

5.2 電離箱システム及び基準線源の安定性

加圧型電離箱システムの安定性は, 比較的長い半減期の線源を定期的に測定することで確認できる。また, 基準線源の安定性についても, これらの線源との相対比較で, 一定の物理的半減期に応じた変化を示すか否かで確認することが可能である。そこで, 比較的簡単に入手できる, ^{60}Co ($T_{1/2} = 5.27 \text{年}$, $E_{\gamma} = 1.25 \text{MeV}$) と ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30.07 \text{年}$, $E_{\gamma} = 0.661 \text{MeV}$) の溶液をそれぞれアンブルに封入し, 半年に亘り定期的に測定を繰り返した。この結果, 基準線源で規格化した場合はもちろんのこと, 電流値をそのまま用いても, 十分に安定したシステムであることが確認された。また, エネルギーの異なる線源の出力比も安定していること(レスポンスの安定性)も併せて確認することが出来た。今後, 同様の測定を継続し, 少なくとも2~3年の安定性を確認して行く予定である。尚, これらの測定において, 測定を始めたばかりのデータ点に若干の異常が認められた。これは, 電流計が常時スタンバイではなかったため, スイッチを入れた後安定するまでにかなりの時間を要するものであることが判明した。図6にバックグラウンドを測定した際の出力変化を示す。各点100秒の電荷蓄積

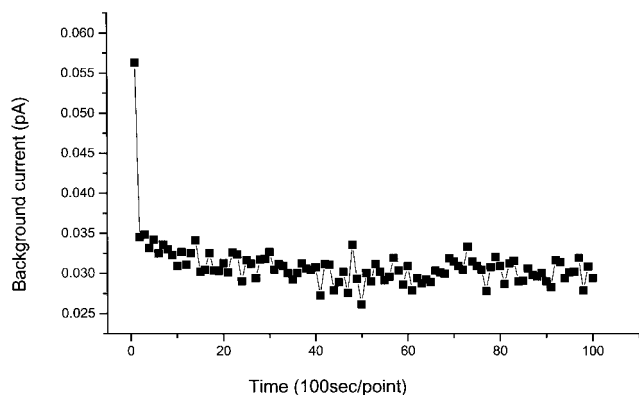


図6 バックグラウンド電流測定における出力変動

モードである。このことから、測定前日よりシステムをスタンバイにさせ、測定開始直後のデータを読み捨てることにより問題は解決した。

5.3 個々の核種に対するレスポンス測定

特定二次標準器として校正を行うには、それぞれの核種についてのレスポンス (pA/MBq) をきちんと押さえる必要がある。1998年6月以降、既に ^{51}Cr 、 ^{54}Mn 、 ^{60}Co 、 ^{109}Cd 、 ^{137}Cs について、一次標準の放射能溶液により出力校正が行われている。今後、主要な核種についての一次標準溶液を用いた校正が急がれている。

一方、基本的に電離箱の出力は、

$$F(\text{pA}) = I f(E) \quad (1)$$

で表される。このとき、 I は1崩壊あたりにそのエネルギーの線が放出される確率、 $f(E)$ は、図2に示した様な線のエネルギーに対するレスポンス関数である。図からも分かる通り、 $f(E)$ はほぼ線エネルギーに比例する連続した関数であり、この関数をきちんと押さえることができれば、未測定の核種についても、放出線のエネルギーと線放出率のデータがあれば、おおよその出力が推定される。また、これまで電総研においては数十核種に及ぶ絶対測定がされており、それらの値は図-2に示した関数とともに、電総研が基準として用いてきたラジウム線源との相対値として記録されている。これまでの研究の結果、個々の電離箱に対してのレスポンスには違いがあるものの、線エネルギーに対する変化は常に一定の連続した関数であり、基準線源に対する相対値で値付けられた核種に対しては、一定の換算係数を掛ければ対応出来ることが示されている⁷⁾。従って、今回試作した加圧型電離箱を特定二次標準器としての校正業務に使用する際、必要となるレスポンス (pA/MBq) は、基準となる $^{166\text{m}}\text{Ho}$ 線源を介して、従来の電離箱から移しとることが可能である。

§6 放射能標準のキーコンパリソンとトレーサビリティ体系

放射能に関するキーコンパリソンは、1997年4月にBIPMで開催された電離性放射線諮問委員会第2分科会(CCRI-II)において、CCRI-IIが定期的(ほぼ3年に1度)に実施する国際比較と、BIPMの国際線核種放射能測定参照システム(International Reference System for Activity Measurements of Gamma-ray Emitting Nuclides; SIR)を仲介とする国際比較とすることで合意された¹⁰⁾。このSIRとは、1978年に国際度量衡局に設置された加圧型の電離箱で(セントロニクス社製IG11/N20, 2MPaの窒素ガスを封入してある。)各国の標準機関から随時送付される一次標準溶液を、BIPMの持つラジウム密封線源と相対測定を行い、その結果を公表するシステムである¹¹⁾。これまで約50核種について500サンプルが送られ、測定結果の全リストが公表されている¹²⁾。電総研からもCCRIの主催する国際比較以外にも、定期的に核種を選択してBIPM/SIRに試料を送付してきた^{13, 14)}。図7に1997年度に送付した ^{59}Fe の例を示す。今後BIPM/SIRは、線核種放射能のキーコンパリソンにおいて、主要な役割を果たすことが期待されている。さて、我が国の放射能標準トレーサビリティにおいて、線核種については今回試作した加圧型電離箱と $^{166\text{m}}\text{Ho}$ 基準線源により、基本的な部分はカバーできるものと考えられる。一方、近年標準のグローバル化と地域囲い込みが同時に進行しているが、我が国がアジア地区のAPMP(Asia Pacific Metrology Programm)の活動に、この加圧型電離箱を用いてBIPM/SIRと同様のサービスを行うことも可能である。今後、積極的にこのようなサービスを行うことにより、我が国ばかりでなく、アジア地区全体の放射能標準のレベルアップにつながると期待される。

§7 結論及び今後の放射能標準確立の進め方

電総研においてこれまで確立してきた放射能一次標準は、主に4 - 同時測定により値付けがなされてきたが、放射能は標準物質と同様に、長期に亘る作り置きが出来ず、且つ毎回絶対測定を行うのでは供給に限界がある。一方、加圧型電離箱の様な、二次測定機器は基準線源との相対値で放射能を求めるが、測定機器の安定性は極めて良好で、かつ大量の測定に適した装置である。この様な二次測定機器を高精度で校正し、 $^{166\text{m}}\text{Ho}$ の様な長期に安定が保証された基準線源との相対値として求めることにより、より安定した供給体制が確立されると言える。とは言い、電離箱では測定出来ないような、極微弱の放射能線源も、環

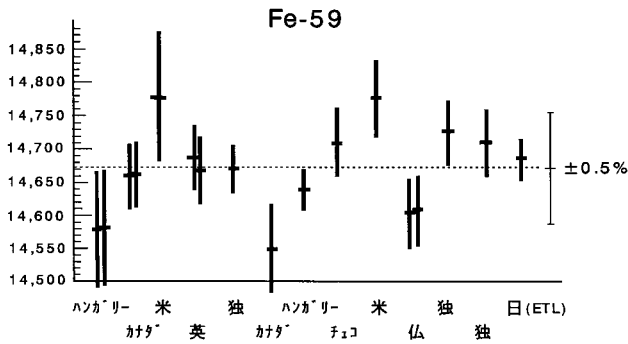


図7 ^{59}Fe 放射能の SIR における比較例
この図にある電総研の値は1997年に送付したものであるが、それ以外は1978年以降随時各国の研究機関から送付されたものである。

境放射能測定分野で必要とされる等、供給範囲の拡大が必要である。環境レベルの微弱な放射能は、大容量の Ge 検出器を用いた測定が主であることから、これらの測定機器整備と校正用線源の確立に関する研究を進めているところである。

一方、放射能核種の中には、全く線を放出しない純核種も多く含まれており、これらは線を出さない故に、例えば体内の代謝検査等に用いられており、これらの核種についてもトレーサビリティが求められている。この様な要求に応えるため、現在国際度量衡局において液体シンチレーションカウンタを基準測定器としたシステムが立ち上げられつつあり、我が国からも、既に ^{90}Sr や ^{204}Tl と言った純核種が送付されている。今後、線核種と同様、いくつかの代表的核種について国際比較を行い、我が国の標準の整合性を確認するとともに、液体シンチレーションカウンタによる二次標準供給体制も、併せて立ち上げてゆく予定である。さらに、放射能取扱施設の出入り管理に使用されているハンドフットモニタ等の校正には、線や線を放出する核種を塗布した面線源が使用されており、放射能面密度(Bq/m^2)と、これらの線源からの荷電粒子放出率が標準として求められている。これに関しては、線源の表面から放出される荷電粒子を、ほぼ100%の効率で測定できる、大面積の2ガスフローカウンタを、加圧型電離箱同様、日本アイソトープ協会と共同で設計・試作を検討中である。今後、これらの準備作業を着実に実施し、我が国の放射能標準トレーサビリティ確立に寄与したいと考えている。

謝 辞

この研究は、科学技術振興調整費知的基盤整備推進制度の一環として実施された。標準トレーサビリティの未整備であった放射能も、この予算により整備が着実に進みつつある。加圧型電離箱システムの設計、試作にあたってはアロカ社にその多くの部分を依頼しており、当社の技術部の方々に感謝したい。また、 $^{166\text{m}}\text{Ho}$ 基準線源の製作にあたっては、共著者の他にも、原研東海研究所アイソトープ利用開発室の方々に多大の援助を頂いた。特に線源の酸化と密封作業は、原研の設備と技術なしにはとうてい不可能で、ここに厚く感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 河田 燕, 由良 治: "放射能標準の現状と今後の課題", 電総研彙報第47巻第9,10号(1983) 797.
- 2) A. Rytz: "International comparison of activity measurements of a solution of ^{133}Ba (March 1984)", Rapport BIPM-85/11 (1985)
- 3) G. Ratel: "International comparison of activity measurements of a solution of ^{109}Cd (March 1986)", Rapport BIPM-88/4 (1988).
- 4) G. Ratel: "International comparison of activity measurements of a solution of ^{125}I (May 1988)", Rapport BIPM-90/3 (1990).
- 5) G. Ratel: "Results of the ^{75}Se full scale international comparison", CCEMRI-II report 93-14 (1993).
- 6) G. Ratel: "Results of an International Trial Comparison of Activity Measurements of a Solution of ^{192}Ir ", Appl. Radiat. Isot. Vol. 49 (1998) 1437-1443.
- 7) D.F.G Reher, M.J. Woods, B.R.S. Simpson and G. Ratel: "Portability of the Calibration of SIR of BIPM to other Ionization Chambers for Radioactivity Measurements", Appl. Radiat. Isot. Vol. 49 (1998) 1417-1419.c
- 8) Y. Hino, Y. Kawada and Nazaroh: "An improved leakage current compensation technique for a 4pg ionization chamber system", Nucl. Inst. & Methods, A 369 (1996) 392-396.
- 9) A. Rytz: "Minimum activity and Maximum impurity rates for SIR samples", Rapport BIPM-83/9 (1983).
- 10) 桧野良穂: "放射能標準におけるキーコンパリソン", Isotope News 1998年8月号(1998) 6-8.

- 11) A. Rytz : "The international reference system for activity measurements of g-ray emitting nuclides", Int. J. Appl. Radiat. and Isotopes, Vol. 34, (1983) 1047-1056.
- 12) D.F.G. Reher : "Critical Evaluation of SIR Results : A First Step", IRMM report GE/R/RN/03/95 (1995).
- 13) Y. Hino and S. Wiryosumatro : "Absolute Measurement of ^{22}Na Radioactivity", 電総研彙報 Vol. 58 No. 4 (1994) 241-245.
- 14) 桧野良穂 : "放射能の標準とトレーサビリティ", フィルムバッジニュース No. 254 (1998)
(1999. 2. 8 受付)



小野間 克行
Katuyuki ONOMA
日本原子力研究所 アイソトープ開発室
ラジオアイソトープの製造・技術開発に従事。



岩本 清吉
Seikichi IWAMOTO
日本原子力研究所 アイソトープ開発室
ラジオアイソトープの放射能検定に従事。

著者紹介



桧野 良穂
Yosio HINO
量子放射部 放射能標準ラボ
E-mail: hino@etl.go.jp
放射能絶対測定及び放射能標準確立に関する研究に従事。



木暮 広人
Hiroto KOGURE
日本原子力研究所 アイソトープ開発室
ラジオアイソトープ特に線源RIの製造に従事。



松井 真
Shin MATSUI
(社)日本アイソトープ協会 アイソトープ部
技術課 主任
放射線及び放射能基準線源校正業務に従事。



大久保 昌武
Masatake OHKUBO
日本原子力研究所 アイソトープ開発室
RI計量技術の開発・特に放射化学分析技術の研究開発に従事。



山田 崇裕
Takahiro YAMADA
(社)日本アイソトープ協会 アイソトープ部
技術課
放射線及び放射能基準線源校正業務に従事。



竹内 紀男
Norio TAKEUCHI
日本原子力研究所 アイソトープ開発室
ラジオアイソトープの放射能検定・放射能絶対測定に従事。