



Photo Yasuhiro Kirano

Index

短寿命RI供給プラットフォーム	渡部 浩司	1
放射性有機廃棄物フリーの ベータ線測定法、基礎と応用例	古田 悦子	6
[泉涓涓として…] 原子力艦事始め (その1)	青山 伸	12
各地の原子力防災訓練に参加して ー弊社が扱う原子力防災資機材の紹介ー		13
ガラスバッジWebサービスのご紹介		17
[サービス部門からのお願い] 平成28年度「個人線量管理票」のお届けについて		19

短寿命RI供給プラットフォーム



渡部 浩司*

1. はじめに

平成28年度から3年間の期間で、文部科学省科学研究費助成事業新学術領域研究（研究領域提案型）『学術研究支援基盤形成』「短寿命RI供給プラットフォーム」¹⁾（領域代表者：大阪大学核物理研究センター・中野貴志）がはじまった。この事業は、研究用RI（radioisotope、放射性同位元素）の年間を通じた安定な供給とその安全な取り扱いのための技術的な支援を行うことを目的としている。本記事では、「短寿命RI供給プラットフォーム」の分担研究者の一人である著者が、このプラットフォーム事業に関して概説する。

2. 「短寿命RI供給プラットフォーム」の背景と目的

RI利用はさまざまな分野において基盤技術としてこれまで広く利用されてきたが、蛍光法など放射線被ばくを伴わない代替手法の開発、放射線規制による利用障壁の高さなどの理由により、近年、その利用が大きく減少している。このため、国内のRI施設の多くは、施設の老朽化と人的リソース不足に直面しており、このままでは数年後には多数の施設が廃止に追い込まれる可能性がある。一方、世

界的に見れば、放射性医薬品開発など特定の分野で、RIの利用が年々増大しており²⁾、国内のRI施設の活性化のためには、RIが原理的に持つ、高感度、トレーサビリティなどの、他の手法では代替できない特徴を活かしたRI利用法の新たな展開が必要と考えられる。我が国では日本アイソトープ協会が、国内のRIの頒布を一手に引き受けてきた。この仕組みにより、RIの安定供給、品質保証が可能となり、日本アイソトープ協会の果たしてきた役割は疑いの余地は無いが、その一方、日本アイソトープ協会が取り扱わないRIは国内での入手は非常に困難であり、特に商業的流通ができない短寿命のRIを用いた研究はこれまで限られた施設のみの利用に留まっていた。

国内の加速器を取り巻く環境も大きく変わりつつある。国内の加速器の導入台数は年々増加の一途をたどっているが、ほとんどが医療用の加速器であり、大学等研究機関に設置される加速器の台数はこの15年でほとんど変化がない³⁾。現在の高エネルギー物理学の主戦場はCERNなどの国際共同研究機関による大型高エネルギー加速器施設となっており、国内研究機関に設置された加速器の利用は大きな転換期を迎えている。RI製造はそれほど高いエネルギーを必要とせず（昨年話題に

* Hiroshi WATABE 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター放射線管理研究部 教授

なったニホニウムの製造では核子あたり約5 MeVである)、国内にある研究用加速器施設において古くからRI製造技術が培われてきたが、作られたRIの利用への展開がほとんどなかったのが実情である。その一因として、RI製造に必要な放射化学などの素養を持つ人材の不足が挙げられる。

「短寿命RI供給プラットフォーム」は大阪大学核物理研究センター(阪大RCNP)を中核機関とし、理化学研究所仁科加速器研究センターRIビームファクトリー(理研RIBF)、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター(東北大CYRIC)、東北大学電子光理学研究センター(東北大ELPH)の4つの連携機関が密接に協力し、日本アイソトープ協会などから購入できない短寿命のRIを、年間を通じて安定的に供給することを目的としている。この事業により、物理、化学、生物学の基礎研究および、工学、農学、医学、薬学、環境科学などのさまざまな応用研究、学際的研究の推進を支援し、これまでRIの利用がなかった分野まで利用者の拡大を図る。さらに、RI製造に携わることができるさまざまな人材を本事業で育成することにより、新たなRI利用を支える基盤を構築することを目標とする。

3. 新学術領域研究(研究領域提案型)『学術研究支援基盤形成』とは

たいへん長い名称であるが、この制度は、文部科学省が平成22年度から「新学術領域研究(研究領域提案型)『生命科学系3分野支援活動』」という名称で始められた制度が元となっている⁴⁾。この際は、がん、ゲノム、脳の3分野に対して、研究支援、リソース・技術開発支援を行うことを目的に研究支援の基盤が形成された。平成28年度、この制度が「新

学術領域研究(研究領域提案型)『学術研究支援基盤形成』』という名称に変更され、分野を限定しない制度として新たにはじまった。本制度では「学術研究」を助成する科学研究費助成事業(いわゆる「科研費」)によって実施されている個々の研究課題に関し、研究者の多様なニーズに効果的に対応するため、大学共同利用機関、共同利用・共同研究拠点を中核機関とする関係機関の緊密な連携の下、学術研究支援基盤(「プラットフォーム」)の形成を図る。“研究基盤リソース支援プログラム”(研究の基礎・基盤となるリソース(資料・データ、実験用の試料、標本等)についての収集・保存・提供や保存技術等の支援を行う事業)と“先端技術基盤支援プログラム”(複数の施設や設備を組み合わせることにより、先端性又は学術的価値を有し、幅広い研究分野・領域の研究者への設備の共用、技術支援を行う事業)の区分があり、「短寿命RI供給プラットフォーム」は前者の区分で採択された(平成28年度はそれぞれの区分で3件が採択)。

4. 「短寿命RI供給プラットフォーム」の体制と仕組み

図1に「短寿命RI供給プラットフォーム」の実施体制および利用の流れを示す。中核機関である阪大RCNPが一元化窓口となり、課題募集から課題申請の受け入れまでを行う。現在、課題募集は春、秋の年2回行われ、送られてきた課題は、過半数の外部委員を含む課題選択委員会(現在、外部委員6名、内部委員4名)が、課題の学術的な重要性や妥当性、研究計画・方法の妥当性、RI利用の必要性の観点から採点を行う。また、RI製造を実施する連携機関は、RI供給の技術的な適合性とRI利用の安全性について評価をし、

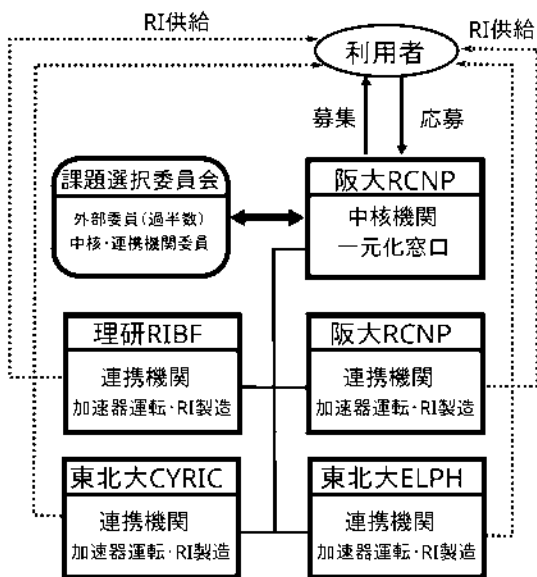


図1 短寿命RI供給プラットフォームの体制と利用の流れ

問題がないことを確認した後に課題が採択される。制度の性質から、申請課題は科研費の支援を受けていることが前提であり、商業利用は認めない。申請書には支援を希望するRIと供給放射エネルギー、供給時期、RI製造場所(複数の施設を選択可能)、RI供給場所、化学精製の有無などを記載する。「短寿命RI供給プラットフォーム」のホームページ¹⁾には「供給RIリスト」が掲載されているが(現在110核種)、このリストに掲載されていないRIの供給も事前に事務局に問い合わせを行い、供給可能であれば申請することができる。

表1に各連携機関の特徴を示す。

阪大RCNPはAVFサイクロトロン(低エネルギー用、最大加速エネルギー:陽子80 MeV、重陽子70 MeV、ヘリウム140 MeVなど)とリングサイクロトロン(中高エネルギー用、最大加速エネルギー:陽子420 MeV、重陽子200 MeV、ヘリウム400 MeVなど)から構成される大型加速器とRI生成専用ビームラインを2コース所有し、高強度の陽子・重陽子・ヘリウムイオンビームなどを利用でき、取扱可能

表1 短寿命RI供給プラットフォームの各連携機関の特徴と支援内容

支援内容	阪大RCNP	理研RIBF	東北大CYRIC	東北大ELPH
ポジトロン放出核種の供給	○	○	◎	○
シングルフォトン核種の供給	◎	○	-	◎
β線放出核種の供給	○	○	○	○
α線放出核種の供給	◎	◎	○	-
中性子過剰放射性核種の供給	-	-	-	◎
重元素放射性核種の供給	-	◎	-	-
RI技術支援 人材育成	-	-	◎	◎

○はこれまで実績がある、◎は特に十分な実績があることを示す。

な非密封RIは1,900核種ある。すでに、学内においては、重元素化学や核医学研究のためのRI供給を医学系研究科、理学研究科、アイソトープ総合センターと共同で行ってきた。

理研RIBFは、2台の重イオン線形加速器と5台のサイクロトロンからなる大型重イオン加速器施設で、世界最高強度の重イオンビームを利用したRIの大量製造や独自のガスジェット法による短寿命RI製造が可能である。これまで100種類以上の有用なRIの製造技術開発を行ってきており、周期表のほとんどすべてのRIを製造できる。提供できるRIは1,400核種以上であり、また、⁶⁵Zn、⁸⁵Sr、⁸⁸Y、¹⁰⁹Cdは日本アイソトープ協会を経由した有償頒布の実績を持つ。

東北大CYRICは加速器施設とアイソトープセンターが統合された施設であり、2台のサイクロトロン(AVFサイクロトロン、小型サイクロトロン)を用いて、長年、PET用

RI製造の実績がある。PET診断用放射性薬剤自動合成装置、薬剤合成用クリーンルーム、臨床用PET装置、動物用PET用装置を所有し、RI製造から薬剤合成、そしてPET診断まで実施できる。利用できるRIは1,000核種あり、一般的なPET核種である ^{18}F 、 ^{11}C だけでなく、 ^{124}I など、通常のPET施設では利用できないRIも製造・使用が可能である。また、これまで、RI技術の支援を行う人材を育成する研修を定期的に行ってきた。

東北大ELPHが所有する大強度電子線形加速器は国内最大級の電子ビームが出力できる。この加速器を用いて、光核反応によるRI製造のためにビームを提供でき、サイクロトロンでは困難なRIを効率よく製造可能である。非密封RI使用施設（化学実験室・測定室・遺伝子組換え実験室）を完備しており、ライフサイエンス研究で用いられる ^{43}K や ^{64}Cu 、 ^{67}Cu 等の中重核種を無担体RI（高比放射能RI）として提供できる。また、これまで学生向けの加速器スクールを実施してきており、東北大CYRICと協力して人材育成プログラムを運用する。

「短寿命RI供給プラットフォーム」で製造されたRIを自施設に輸送することも可能であるが、その場合は当然ながら、利用する施設で該当RIの使用許可が取れていることが前提となる。申請の前に、希望RIの許可が取れているか、一日最大使用数量、最大貯蔵数量を確認することは必要である。もし、許可がとれていなかったり、許可使用量が少なすぎるなどの場合は該当する施設の変更申請を要する。本記事の読者は施設の放射線取扱主任者が多いと思われるが、自施設のユーザーが「短寿命RI供給プラットフォーム」の利用を希望する場合は、ぜひ協力をお願いしたい。

平成28年度は初年度ということで後期のみ

の募集を行い、11件の課題が採択された。分野は、生物化学、医学、バイオ工学、物理学、核化学、環境科学、原子力と多岐に渡っており、RIの潜在的な利用分野の広がりがわかった。利用者は現在のところ無料でRI供給を受けることができ（将来課金される可能性もあります）、RI製造によって発生した加速器運転による光熱費等は本事業から支出される。

5. 人材育成

人材育成も「短寿命RI供給プラットフォーム」の大事なミッションである。加速器によるRI製造を行うためには、加速器物理、放射化学、放射線計測、放射線防護など多岐に渡る知識が必要である。その一方、大学等では、RIを取り扱う経験者が減っているのが実情であり、このような知識を持った人材の育成は急務となっている。平成28年度は東北大CYRICで2回の研修を行った。ここでは、平成28年9月29日(木) - 30日(金)に行われた研修を紹介する。

本研修はもともと全国の国立大学アイソトープ総合センターによる組織「国立大学アイソトープ総合センター長会議」の幹事校7校（北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学）が毎年持ち回りで、放射線安全管理担当教職員を対象として開催しているものであるが、平成28年度は「短寿命RI供給プラットフォーム」との共催とした。多くの受講者は、自施設に加速器を所有しておらず、加速器施設が実際にどのように運用されているかという知識が不足している。その一方で、自分の大学の放射線施設はまったく利用せず、KEK、J-PARC、Spring-8などの大型加速器施設のみを利用する学内放射線取扱従事者が増えている。この

ような現状から、本研修では、大型加速器施設（理研、SPRING-8、J-PARC、KEK、阪大RCNP）から講師をお招きし、大型加速器の利用と管理の実際を講演していただいた。また、実際に加速器を用いてRI製造を行う実習を行った。この実習では、サイクロトロンで30 MeVに加速した陽子ビームをスタック状に重ねたFe金属箔あるいはTi金属箔に照射した。その後、各金属箔毎に、この照射によって生成された⁵⁶Coや⁴⁸Vから放出されるγ線をGe半導体検出器で測定し、Fe (p, X) ⁵⁶Co やTi (p, X) ⁴⁸V反応 (Fe, Ti は天然のFe, Ti でXは n, 2n, 3nなどが含まれる) の励起関数 (エネルギーによる反応断面積の関数) を各受講生に求めてもらった。

今回の研修ではRI製造の第一ステップまでであったが、化学精製やRIを用いたイメージング技術など、RI製造・供給そして使用に至るまでにさまざまな技術が必要である。今後の研修では、今回とは異なる研修内容とし、多種多様のニーズに応える人材を育成する。

6. 「短寿命RI供給プラットフォーム」の将来

現在は連携機関が4施設であるが、他の施設を加え、国内のどこでも安定的にRIが供給できるオールジャパンのネットワーク体制を構築する予定である。本事業により、新たなRI利用者の拡大、新たな研究分野の開拓を目指す。裾野が広がることにより、民間移転あるいは商業的な事業に発展する可能性も考えられる。

7. 最後に

本記事では、平成28年度から始まった事業「短寿命RI供給プラットフォーム」について

解説をした。本事業は、3年の期限付きの試行的事業であるが、事業終了時の評価において、このプラットフォームが学術研究の推進に期待できると評価された場合、実施期間の延長や必要な予算措置等が行われ、本格実施に移行すると予想される。本事業の成功は、将来の我が国のRIを用いた研究の発展を担う重要な試金石であり、ぜひ皆様のご支援をよろしくお願いします。

参考文献

- 1) 短寿命RI供給プラットフォームホームページ. <http://www.rcnp.osaka-u.ac.jp/~ripf>.
- 2) World Nuclear Association Information Library. <http://www.world-nuclear.org/information-library>.
- 3) 日本アイソトープ協会調べ放射線利用統計. <http://www.jrias.or.jp/report/cat/101.html>.
- 4) 文部科学省Webページ-新学術領域研究(研究領域提案型)『学術研究支援基盤形成』. http://www.mext.go.jp/a_menu/shinkou/hojyo/1376127.htm.

著者プロフィール

1995年東北大学大学院原子核工学科博士後期課程を修了し、博士(工学)を取得。

その後、2009年まで国立循環器病センター(現・国立循環器病研究センター)研究所でPET、SPECT関連の研究に従事。その間、1997年から1999年まで米国国立衛生研究所(NIH)に留学。2009年10月から2013年3月まで大阪大学大学院医学系研究科医薬分子イメージング寄附講座の准教授として、大阪大学大学院医学系研究科附属PET分子イメージングセンターの立ち上げを進めた。2013年4月より現職の東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターに異動し、核医学、分子イメージングの研究を継続するとともに、研究領域を放射線に関わる研究全般に広げて活動を行なっている。

放射性有機廃棄物フリーの ベータ線測定法、基礎と応用例



古田 悦子*

1. ベータ線測定の現状：メリットとデメリット

2011年に起きた原発事故後に放出された純ベータ線放出核種（ベータ線のみを放出し、測定が容易なガンマ線などの放出がない核種）の測定が、国内の複数の施設で行われている。この純ベータ線放出核種の代表例として、トリチウム、ストロンチウム（イットリウム）が挙げられる。さらに、従来からの生命科学分野では、純ベータ線放出核種としてのトリチウム、炭素-14、イオウ-35等の研究利用も続いており、日々試料として測定されている。かつ、こうした研究施設では、汚染検査（「放射線障害防止法」により施設内の汚染状況の確認が義務付けられている）のための定期ベータ線測定も行われている。

これらの純ベータ線放出核種を含む溶液（汚染検査のろ紙）の測定は、もっぱら液体シンチレーションカウンター（LSC）を用いて行われている。この方法の試料は、蛍光体を含む有機溶媒である「液体シンチレータ」に溶解させる。純ベータ線放出核種は、液体シンチレータに囲まれるために 4π 測定法と呼ばれ、全方向に放出された放射線のエネルギーが蛍光に変換されるため、計数効率（放射能dpmに対する計数率cpmの割合）が最も高くなるのがメリットである。このため、LSCによる測定法（光電子増倍管による光検出）は、開発当初から液体シンチレータに試料を溶解する方法がとられている。一方、測定後の試料は放射性の有機廃液として放射線障害防止法に則った処分が必要であり、時間と費用が掛かり若干の毒性があり、かつ、試料の回収が不

可能な点がデメリットである。さらに、液体シンチレータを用いたLSC測定法では、必ずクエンチング（消光現象）が発生し、スペクトルが得られるにもかかわらず、これを核種同定に用いることは不可能である。すなわち、最大エネルギーを示すスペクトルを得ることは出来ない。

上記のデメリットの解消、すなわち放射性の有機廃液を大量発生させないために、「アッセイプレート」を用いる方法が生命科学分野では普及した。測定後に有機廃液は大量発生しないが、1枚約13 cm×8.5 cmの大きさのプレートが、固体の放射性廃棄物（ゴミ）として大量発生することとなった。また、固体シンチレータを底面に塗布したReady Cap™（直径1.4 cm、高さ1 cm）がベックマン社（当時）から販売され、一旦は爆発的に売れた。しかしこの方法は、多くのユーザーが統一した使い方をしなかったため、再現性が乏しく、使われなくなった。一方、ベータ線がプラスチックシンチレータ（高分子化合物に蛍光剤を添加した有機固体：PS）を光らせることは古くから知られていた。このPSを容器型とした研究が実施されたが¹⁾、高価であったPSに直接放射性溶液を入れることは汚染につながるため、内容器を用いる方法を採用した。その結果、トリチウムなどの低エネルギー純ベータ線放出核種の測定は不可能であった。その他、PSを用いた海外での研究例もあるが、トリチウムに対して高い計数効率を得られた使用例はなかった。

このような背景の元、筆者が進めてきた「プラスチックシンチレータ測定法」を、ここに紹介する。本法は、既存のLSCを用いた測定法であり、

* Etsuko FURUTA お茶の水女子大学 基幹研究院自然科学系物理科学コース 講師／ラジオアイソトープ実験センター 副センター長
NPO法人放射線安全フォーラム 理事

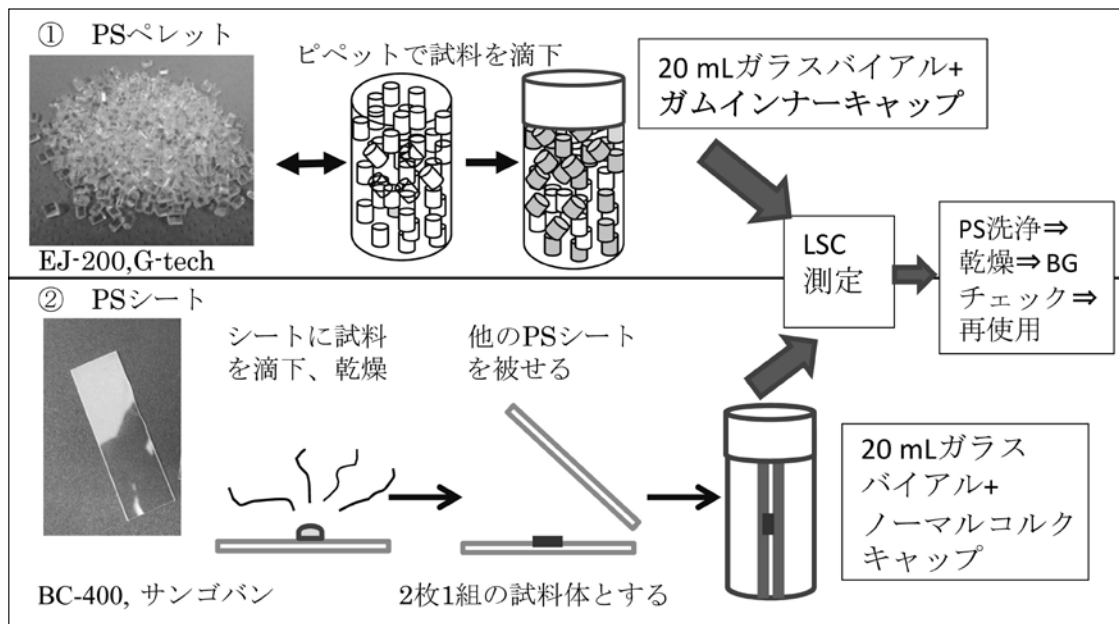


図1 プラスチックシンチレータを用いたLSC測定法模式図

計数効率が高く、測定後の放射性有機廃液及びプラスチックのゴミの発生が抑えられ、さらに核種同定も可能であり、再現性も良い。なお、本法は全てのベータ線放出核種に適用可能であるが、本稿では最も測定が困難であるトリチウム測定を中心に記載する。

2. プラスチックシンチレータ (PS)測定法

既存の液体シンチレーションカウンターを用いた基本のPS測定法を以下に示す。

2.1 PS使用法

放射性の試料は、①揮発性化合物（トリチウム水など）²⁾と、②不揮発性化合物（トリチウムメチオニンなど）³⁾の2種類に分けられる。それぞれに最適なPSを用いた試料測定のプロセスを図1に示す。

①の揮発性試料には、PSペレット（直径、長さともに約3mmの楕円柱）を用い、20 mLガラスバイアルは、ガムインナーの付いた蓋（uGV2, Meridian Biotechnologies Ltd）を用いる。この

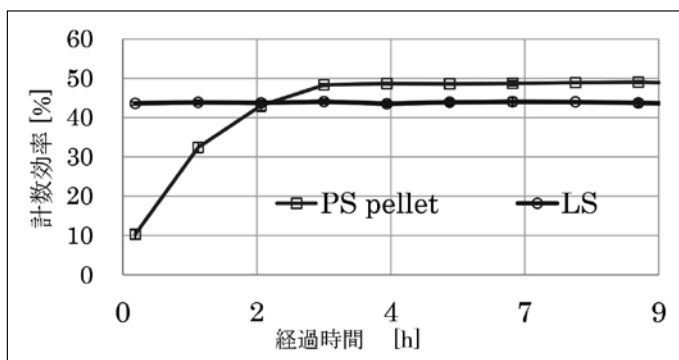


図2 トリチウム水500 Bq/5 μLのPSペレットを用いた測定例

方法は、トリチウム水を揮発させた気体状態で測定するが、この蓋でリークが20日以上に渡り防げることは確認済である。この方法は、トリチウムの水溶液中の最大飛程6 μmが、空気中では5 mmと大幅に長くなる特徴を利用している。これにより、図2に示すように、その計数効率は試料溶液が少ない場合、液体シンチレータより高い値を示す。なお、図2の安定した計数効率になるまでの経過時間は、バイアル内での自然気化時間を示している。この時間の短縮を図る場合は、恒温槽などを用いた加温（60℃、～45分）が有効である。さらに、用いたPSペレットの3 mmは汎用品であるが、特注の2 mmでは、空間が少なく

なるため計数効率⁶⁾は6割程度に減少し、特注の4mmは3mmと変わらないため、汎用品の3mmを用いている。なお、PSペレットを用いても揮発性化合物の測定は可能であるが、次に示す②のPSシート法の方が、高い計数効率を示す。

②のPSシート法では、20 mLバイアルに立てることが可能な0.5 mm厚のPSシートを13 mm×50 mmにカットして用いた。この厚さのプラスチックは、通常のカッターで罫書きしてから折り曲げることで、容易にカットすることが出来る。このシートを用いた方法でも、水溶液を揮発させ、試料そのものが、直接PSに接する方法で測定している。しかし、滴下される試料溶液はPS表面の疎水性により表面張力を起こし、大面積での接触が出来ない。これは計数効率の低下につながると考え、PS表面の「プラズマ処理」による親水化を試みた⁴⁾。その結果を図3に示す。この際に用いたプラズマ法は、東海大学工学部大山教授が作製した誘電体バリア放電 (DBD) プラズマであり、Arガスを用いた大気圧プラズマ法である。プラズマ処理では、カルボニル基 (>C=O) が付与され親水化すること⁵⁾ が知られている。DBD法ではさらに、表面に極めて微細なエッチングが生じていることを原子間力顕微鏡により確認済である⁴⁾。これが、図3に示したプラズマ処理時間によって計数効率が異なった原因と考えられる。プラズマ処理法は多種類あり、現在は複数同時処理が可能で、空気をプラズマ源とする弱減圧タイ

プ (IP-220P、泉工業(株)) を使用している。いずれのプラズマ処理でも、接触域は (滴下量によるが) 2~10倍程度増加し、計数効率の向上に大きく寄与している。なお、親水化には「フッ素加工処理」(高松帝酸(株)) も有効であり⁶⁾、一度の処理で効果は7ヶ月程度持続した。さらに、図3に示したとおり、1枚のPSシートでも測定は可能であるが、2枚に挟む形での測定により計数効率は向上する。2枚を1試料体とする場合、実験的には両端をテープで固定したが、現在は密着させるジグが、(株)日立製作所及び東京インキ(株)により試作されている。

2.2 PSによる定量

PS測定における定量性を、図4に示す。PSペレット、およびPSシートともに計数率 (cpm) と放射能 (Bq) の間には、良い直線関係が得られている。ただし、PSペレットの場合は、滴下容量が異なると直線の傾きが異なった。PSシートの場合、蓋に隠れるような位置に試料を滴下しない限り、シートの中での試料位置は問題ではなく、再現性良く計数が得られる。また、PS法での検出下限値⁷⁾ は、その自然計数率値から算出し、PSシートが15.6 Bq/mL、PSペレットが5 Bq/mLであった。単位容量当たりで示したこれらの値は決して優れた値とは言えない。これは即ち、PSを用いた場合の滴下容量に限度があるためであり、大容量のバイアルを測定可能なLSC-LB7 (株)日立製作所) やPS専用測定器⁸⁾ を用いれば大幅な改善が認められる。実際、LSC-LB7での検出限界値は、PSシートが0.15 Bq/L、PSペレットが35.3 Bq/Lと2-5桁以上、検出下限値が改善されている。

2.3 PSによるスペクトル測定

現在の既存のLSCは、スペクトル測定が可能であり、1チャンネルを0.5 keVと評価した (電気的な設定をそのようにした) 場合、従来のLSC用標準試料³Hと¹⁴Cのスペクトルは、各々最大エネルギーを示す。これは各種クエンチング (色、化学、酸素、濃度) と無縁な状態にしてあるため

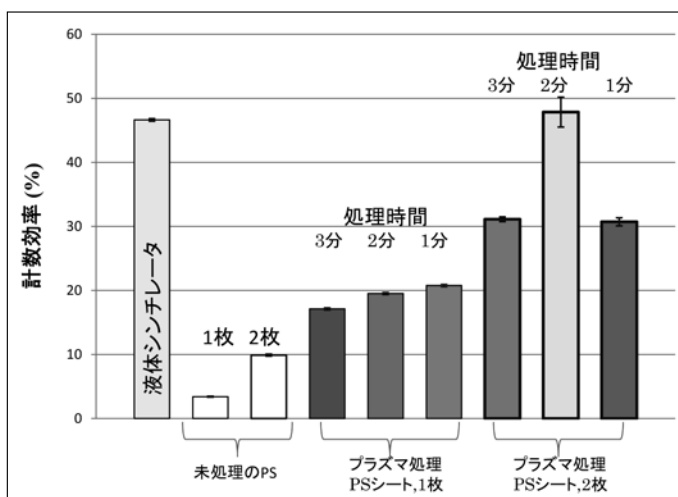


図3 プラスチックシンチレータによる³H-methionineの計数効率：DBDプラズマ効果

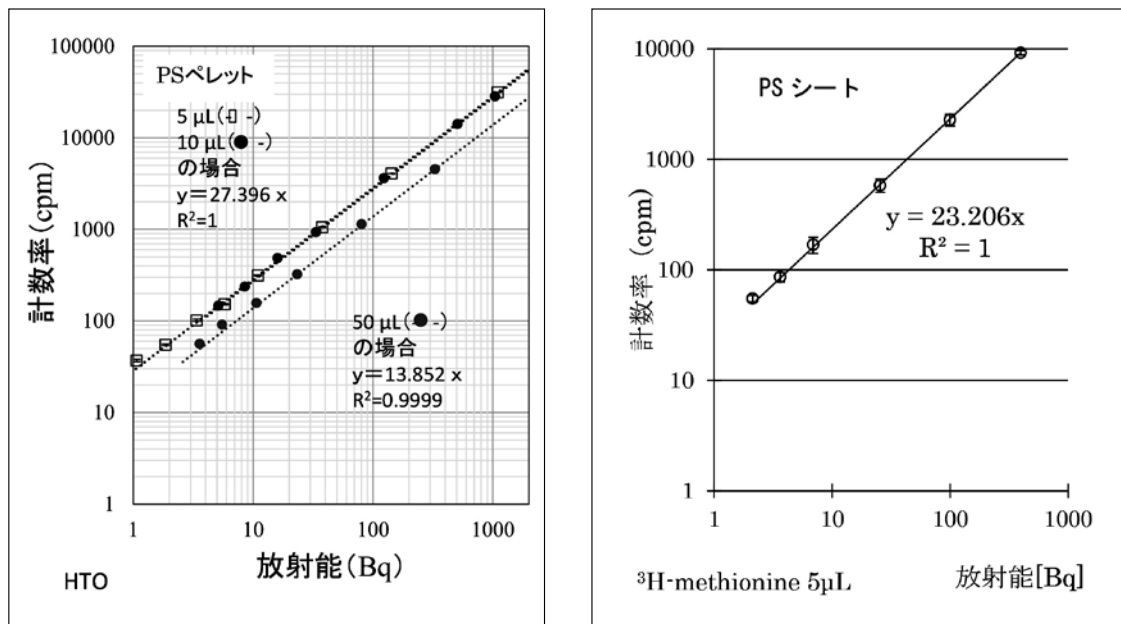


図4 20 mL バイアルを用いたPS測定法における定量

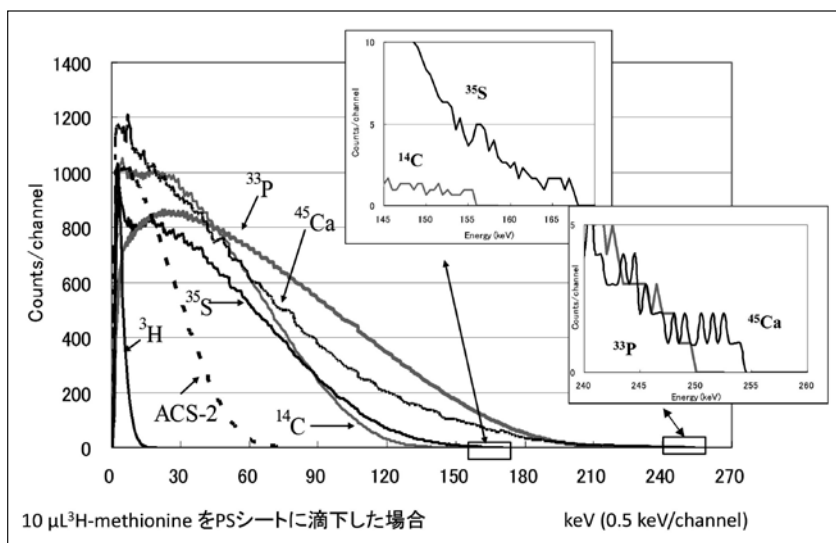


図5 ベータ線スペクトル：Beckman 6000により測定した場合⁹⁾

であり、通常の試料を液体シンチレータに溶解した場合は、先にも触れたとおり必ず消光現象が発生し、スペクトルが低エネルギー側にシフトする。シフトの度合いは試料毎に異なるため、クエンチパラメーターを見ても、何の核種かは殆ど同定できない。

一方、PSシート (BC-400) を用いた測定では、色クエンチング (計数率の低下) を除き、クエン

チングは発生しない。この測定による代表的なスペクトルを図5に示す。 ^{14}C (ベータ線最大エネルギー156 keV) と ^{35}S (同167 keV)、 ^{33}P (同249 keV) と ^{45}Ca (同257 keV) の最大エネルギーの極めて近い核種同士でも同定が可能となっている。図5中の液体シンチレータ (ACS-2) を用いて測定した ^{14}C スペクトルは大きくクエンチングを起しており、液体シンチレータを用いた場合、 ^{35}S と

の違いは示せない。なお、PSペレットを用いたトリチウム水の測定でも、そのスペクトルのエンドポイントは18.5 keVを示す。

2.4 PSの再使用

放射線測定に使用するPSは、再使用が可能であり、放射性の固体廃棄物の発生も抑えられる。洗浄方法は、PSシート、PSペレットいずれの場合も、バイアルからザルに空け、流水下で濯いでから、温石けん水40℃に入れ、スターラーを用いて10分攪拌、もしくはインキュベータを用いてオーバーナイトで振とうする。同じことを純水中で2回繰り返し、ペレットに空けて乾燥させる。乾燥後は、BGレベルであることを再測定し確認する。

試料を付着させたまま1ヶ月以上放置した場合、トリチウムではPS内部への浸透が起こるようであり、未使用レベルに下げることが困難になる。従って、放置は禁物であるが、1週間程度であれば問題はない。再使用のPSを用いて、以前と同量のトリチウム水で測定・洗浄を繰り返すことを5回まで確認した結果、計数率は誤差範囲内に収まり、全く問題なく使用可能であった。ただし、PSシートの場合は、洗浄によって亀裂が入る場合があり、初期に滴下した以上のカウントを示す場合がある。こうしたシートは再使用不可能であり、破棄する必要がある。超音波洗浄も亀裂の原因となるので、利用しない方が良い。また、室内灯による蓄光を示す場合もあり、LSC内にセットした後複数サイクル測定する必要がある。この蓄光現象は、液体シンチレータを用いた測定でも同じである。

3. プラスチックシンチレータを用いた 応用測定例

単純な測定以外に、PSを用いた測定法の応用が進んでおり、以下に数例を紹介する。

3.1 汚染検査器具

汚染検査は、放射性物質取扱施設に於いては法定義務があり、毎月繰り返し行われている。汚染検査は主に「スメアろ紙による拭取り法」で行われる。この検査により、作業施設内の表

面汚染密度を求め、場の安全を確保する。拭取ったろ紙はLSCで測定するため、通常、1本のバイアルに液体シンチレータを5 mL程度添加して測定する。汚染は無い場合が多いが、5 mL×本数分の廃液が発生する。すなわち、汚染が無いにもかかわらず、汚染検査をするたびに廃液が発生することは悩みの種であった。これを回避する方法として、両面テープを巻いたPSの芯棒をコロコロと床面に転がす拭取り法を提案した¹⁰⁾。この方法は、大きな反響を頂いたが、芯棒とするPSが高価であり、現実的ではなかった。しかし、この方法のメリットとして、①放射性の廃棄物は両面テープのみである、②拭取り効率に個人差が無く、誰が行っても同程度の結果が得られる、③拭取り面積がスメアろ紙を用いた拭き取りより正確になる、④粘着性のあるテープを用いた場合、汚染の回収率が高いことが挙げられた。

今現在、安価な薄膜状のPSが作成可能となった(東京インキ(株))。このため、10 cm四方の両面テープを床面に押しつけ汚染を移した後、ここに薄膜状のPSを被せ、2枚を合わせてバイアルに入れ測定する「スタンプ方式」が実現可能となった¹¹⁾。これにより、上記メリットが全て得られることとなる。

3.2 ベータ線スペクトロメータ

既存のLSCにより測定出来るスペクトルは、横軸を電氣的に0.5 keV/チャンネルとしている。この方法は正確で僅かな最大エネルギーの違いを評価できるのだが、*Radiocarbon*⁹⁾への論文投稿の際、問題となった。そこで、ピスマス-207の内部転換電子(電子でありながら、線スペクトルを示す)4本と種々のチェックソースを用い、ベータ線最大エネルギーとチャンネルの間に直線関係があることを、PSを用いた蛍光測定により示し、 β 線スペクトロメータとした¹²⁾。実際、この方法により、古い腕時計の文字盤に塗布された蛍光塗料の核種を同定した。すなわち、ロレックス(株)アール提供)では、ラジウム(時にはトリチウム)を蛍光の放射線源として用いている。精巧ではあるが偽物と疑わしい高額腕時計が修理に持ち込まれる。2次元の放射線画像取得装置(イメージングプレート)により、何らかの放射線が放出されていることと、ガンマ線の放出が

無さそうなことが確かめられている文字盤¹³⁾を、ベータ線スペクトロメータを用いて測定し、使用されている核種がラジウムやトリウムではなくプロメチウム-147 (最大エネルギー: 225 keV)であることを明らかにした。さらにHPGeによる γ 線測定を行い、ロレックスからはラジウムとその子孫核種が検出された一方、当該文字盤は、自然放射能レベルであり、ガンマ線の放出がないことが確認できた。即ち当該試料はロレックス製ではなく、時計の真偽がPSを用い判定できた。

3.3 呼気測定装置

原発事故現場や今後の廃炉に際し、現場の作業者の健康管理のためには、呼気中の放射能濃度の測定は欠かせない。フィルターマスクを着用しての作業であるが、フィルターにトラップされない核種としてトリチウム水が挙げられる。今現在、直接呼気中の放射能濃度を測定する装置は製造されていない。実際には、空气中濃度の測定から算定する方法が用いられている。しかし、個々の作業者の作業状況、即ち呼気量は異なるため、算定値に不安を覚える場合がある。そこで、「迅速呼気測定装置」(株化研との共同研究)を試作した。呼気中の放射能濃度に関する規制値は日本には存在しないが、飲料水の国際的な規制値の中で厳しい100 Bq/L (EURATOM) が測定可能であるPSペレットを用いる。PSペレットを入れた100 mLテフロンバイアルに、呼気5 L中の水分を回収し、ここに含まれるトリチウム水をLSC-LB7 (株日立製作所)を用いて測定する。これにより個々の作業者の安全管理を正しく行なうことができ、継続した労働の可否も個人々々に対し判断可能となる。

4. 国産のプラスチックシンチレータ

本稿のデータは、全て外国製のPSを用いた実験結果である。液体シンチレータを用いた場合と遜色のない結果が得られているものの、PS法は普及しているとは言いがたい。この原因として、以下のデメリットが挙げられる。①高価であること、②発注から納品まで時間がかかること、③特注品の相談が困難であること。①は高価だから多用されず、多用されないのが高価であると

言う負のスパイラル状態にある。海外からの輸入である点も、その価格に反映している。筆者は2016年度より東京インキ(株)との共同研究を開始し、試作PSの計数効率が従来品と遜色がないことを確認した。当該企業は2017年4月より「ルミネート™」(特許出願中)の販売を開始した¹⁴⁾。これにより、安価なPSシートとPSペレットの供給が可能となった。

おわりに

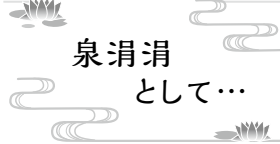
放射性の有機廃棄物(固体・液体)の発生しないベータ線の測定法が確立できた。既存の液体シンチレーションカウンターを測定器として使用できるため、従来行ってきた方法と大きく変わるところは無く、明日からでも切り替えられる方法である。是非試していただきたいと思う。

参考文献

- 1) Y. Ogata, *J Radioanal Nucl Chemis.*, 273, 253-256, 2007.
- 2) E. Furuta et. al., *Isotopes in Environmental & Health Studies.*, 52(4), 560-566, 2016.
- 3) E. Furuta et.al., *J Applied Radiation and Isotopes*, 93, 13-17, 2014.
- 4) E. Furuta et.al., *J Radioanal Nucl Chemis.*, 299, 471-476, 2014.
- 5) R. Ohyama et.al., *J Phys. D: Appl. Phys.*, 42, 105203.
- 6) 古田悦子他、保健物理学会誌50(2), 119-127, 2015.
- 7) 野口正安、富永洋、「放射線応用計測」p263-264.
- 8) E. Furuta and T. Kawano, *Applied Radiation and Isotopes*, 104, 175-180, 2015.
- 9) E. Furuta et.al., *Radiocarbon*, LSC 2008, 19-26, 2009.
- 10) E. Furuta et.al., *Health Physics*, 102(6), 664-669, 2012.
- 11) 古田悦子、保健物理学会第49回研究発表会A5-1 (弘前、2016年6月30日)
- 12) 星野萌生他、日本放射線安全管理学会第15回学術大会1B2-3 (岡山、2016年11月30日)
- 13) 佐瀬卓也、日本放射線安全管理学会第15回学術大会2B1-3 (岡山、2016年12月1日)
- 14) 化学工業日報 2017/03/09

著者プロフィール


お茶の水女子大学基幹研究院自然科学系物理科学コース講師、ラジオアイソトープ実験センター副センター長兼務、東京都立大学理学部化学科卒業、製薬会社研究所勤務を経て、専業主婦後、放射線取扱主任者として再就職、名古屋大学大学院課程にて博士(理学)を取得後、現職。本稿で紹介した「プラスチックシンチレータ」を用いた測定法は、海外では話題となり、招待講演や寄稿依頼が増加している。日本発の測定法が、世界に普及することを願っている。



泉涓涓
として…

原子力艦事始め (その1)

弊社特別顧問 青山 伸



1955年1月17日、世界初の原子力潜水艦ノーチラスは、原子動力での試験航行を開始した。1948年4月27日に米国原子力委員会が公式にプロジェクトの可能性を表明してから僅か6年9か月である。その開発過程自体、様々な困難を克服する多くのエピソードを含んでいるが、事の起こりは、1939年3月17日に遡る。コロンビア大学のジョージ・ベグラム物理学科長が、同大学の教授として移ってきたノーベル賞受賞者のエンリコ・フェルミ博士とともにワシントンDCの海軍省で、ハロルド・ボーエン海軍少将（工学局長）、ホリス・クーリー大佐（海軍研究所長）、ロス・ガン博士（海軍研究所機械・電機部門長）らにウランの核分裂の利用可能性について話した時だ。3日後の3月20日、ガン部門長とクーリー所長は、ボーエン局長を訪ね、原子力潜水艦の可能性について報告し、研究費1,500ドルを得て核分裂研究に着手した。ガン部門長は、6月1日、潜水艦の原子力推進について最初の報告をし、酸素がいないことから航続距離、戦略活動能力が著しく増すことを指摘するとともに、ウラン235の分離が課題とした。ガン部門長が、フィリップ・アベルソン博士の参加も得て進めた研究では、熱による拡散を利用する方法に集中し、その成果は、後に原子爆弾の実現に活用されたものの、直ちに原子力推進への途を拓くには至らなかった。

1938年12月に、オットー・ハーンとフリッツ・シュトラスマンが、ウランに中性子を照射して、バリウムの放射性同位体が生成することを発見した。ハーンは、これを発表する前に、元同僚でスウェーデンに逃れていたリーゼ・マイトナーに実験結果を伝えた。彼女は、甥のオットー・フリッシュとともに実験から導かれる核分裂の理論を構築した。このニュースは、翌年1月に渡米したニールス・ボーアからもたらされ、多くの学者の関心を惹くとともに関連の実験が盛んに行われた。ボーア訪米の2週間前、既に米国に到着し、移住することとしていたエンリコ・フェルミも加わり、米国で新たな核反応-連鎖反応-の可能性について議論が進められた。実現性はともかく、可能性があり、かつナチス・ドイツが盛んに研究を進めている分野だけに、欧州から渡ってきた科学者を中心に爆弾の可能性を探る動きが広まった。第二次世界大戦に入ってから、シカゴでのマンハッタン計画に参加するニューヨークからの出張について、敵性国民として毎回1週間前までに申請し許可を得ないと移動できず、かつ飛行機の利用も認められないという不利な扱いを受けていたものの、フェルミも参加してマンハッタン計画が進められた。

1944年、マンハッタン計画司令官のレズリー・グローヴス准将が、戦後の核分裂利用についてカリフォルニア工科大学のリチャード・トールマンを委員長とする委員会を組織して検討した結果、「政府は、緊急のプロジェクトとして、海軍艦船の推進力を原子力で得るための研究開発に着手し、推進すべきである。」との報告書が12月に提出された。その後、海軍では、1946年にロスとアベルソンが構想した海軍研究所の提案を受けて、原子力潜水艦の建造を企てる動きもあったが、陸軍が主導するマンハッタン計画との調整が不調で先に進まなかった。原子力推進の実現性に関する準備不足も手伝ったとみられる。

各地の原子力防災訓練に参加して —弊社が扱う原子力防災資機材の紹介—

1. 各地の原子力防災訓練

東日本大震災、福島第一原子力発電所の事故（以下「福島事故」と記載）から六年の月日が経ちました。もう一度事故が起こらないとは誰にも言えません。福島事故の反省を踏まえ、原子力災害に備えた防災対策を講じる重点区域の範囲を原子力発電所から概ね30 km圏に拡大（事故前は8 km～10 km圏）されました。事故が発生し緊急事態となった場合に、放射性物質が放出される前の段階から予防的に避難等を開始する区域（予防的防護措置を準備する区域（PAZ：Precautionary Action Zone）といい、原子力発電所から概ね5 km圏）と、屋内退避などの防護措置を行う区域（緊急時防護措置を準備する区域（UPZ：Urgent Protective action planning Zone）といい、概ね5～30 km圏）を設けることになりました。原子力発電所において事故が発生した場合、事故の進展に応じてPAZからUPZへ、さらにUPZ圏外の避難所まで避難することになりますが、その際、移動に使ったバスや自家用車などの車両あるいは住民の方々ご自身が放射性物質によって汚染していないか放射線測定器等で測定（これをスクリーニングといいます）し、基準以上の汚染が確認された場合には除染するなどを行う必要があります。

「万が一、再び事故が起こってしまった」場合を想定し、原子力発電所立地道県を中心に原子力防災訓練が行われています。原子力防災訓練には、災害対策基本法に基づき道府県が実施する訓練と原子力災害対策特別措置法に基づき国が主体となって行う原子力総合防災

訓練がありますが、実際には自治体と国及び各団体・機関（地元消防・警察、自衛隊、海上保安庁、量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所、日本原子力研究開発機構など）が連携して訓練を行っています。

弊社は、このような防災訓練に積極的に参加し訓練の実施方法や除染手順の提案、人員配置方法などの情報提供を行うとともに、車両のスクリーニングを行う装置「ガンマ・ボール」や汚染した車両の除染作業にともなう放射線物質の飛散・拡大防止のための「大型車両用除染テント」など有事の際に必要な資機材の紹介やこれらを使った実地訓練を行っています。平成28年度は、8月に福井県内で実施された訓練をはじめとして国内で実施された訓練のうち9箇所の訓練に参加しましたので、訓練の状況や弊社が扱う原子力防災資機材を紹介いたします。

原子力災害発生時は、国・自治体の担当部署職員や特定機関の専門家だけでなく、他部署の職員や医療関係者、さらに住民や必要資機材を運搬する車両運転手など多くの方々が関与することになります。

弊社が参加した原子力防災訓練実施道県一覧

防災訓練実施日	訓練実施道県
2016年8月27日	福井県
2016年10月10日	福岡県
2016年10月22日	福島県（2箇所）
2016年11月14日	北海道
2016年11月19日	鳥取県
2016年11月19日	島根県
2016年11月20日	石川県・富山県
2017年1月28日	鹿児島県
2017年2月10日	静岡県

●ガンマポールによる車両スクリーニングの様子

北海道 (2016.11)



静岡県 (2017.2)



福岡県 (2016.10)



●雨天でのスクリーニング全景

島根県 (2016.11)



雨天での実施
ガンマポールは雨天でも
問題なく使用可能

●ドラッシュテント

石川県 (2016.11)



簡単に組み立てができ、
事務所や更衣室、
人の除染室などに利用可能

●大型車両用除染テント

福井県 (2016.8)



除染水は回収可能

福島県 (2016.10)



簡単に組み立てが可能で
小型車両から大型車両まで
雨天でも除染作業可能

鳥取県 (2016.11)



2. 弊社が扱う原子力防災資機材

弊社では、原子力災害時に実際に避難所等で住民の汚染検査や健康管理などの防災業務に当たる自治体職員や医療関係者、さらに大型バスの運転手の方々などが必要とする使用場所の環境に応じた被服やマスク類、さらに十分な経験がなくても測定ができる小型・軽量（手

のひらサイズ、約200～300g）の携帯用放射線測定器や持ち運びや操作が非常に簡単な放射線量率測定装置（可搬型モニタリングポスト）などを準備しています。原子力防災訓練は、これらの資機材を身近に触れる重要な機会にもなると思います。

興味をもたれた方がいらっしゃいましたら、お気軽に弊社まで御連絡ください。



【不織布保護衣】



【マスク類】



【可搬型モニタリングポスト】



PRD-ERJ
空間線量率測定



B20J
表面汚染検査



SPRDJ
核種同定



GNJ
中性子計数率測定

【携帯用放射線測定器シリーズ】



避難住民の方々の
体表面への放射性物質の
付着の有無をスクリーニング

【簡易型体表面スクリーニング装置】
(開発中)

ガラスバッジ Web サービスのご紹介

日頃は、弊社モニタリングサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。
 今回は、「ガラスバッジWebサービス」で行うご使用者の中止、複数のモニタご使用時におけるモニタ毎の中止の操作方法を紹介いたします。

【ご使用者の中止方法】

ご使用者登録一覧画面より、中止したいご使用者の①「中止、休止、モニタ追加、変更等」をクリックします。

ご使用者登録一覧

お客様コード: 1053053000 株式会社千代田テクノ

整理番号: 表示対象: サービス中

個人コード:

使用者氏名(漢字): ●前方一致 ○部分一致

使用者氏名(フリガナ): ●前方一致 ○部分一致

検索

整理番号	個人コード	使用者氏名(漢字)	性別	登録期間	行いたい処理をクリックしてください
001	29094381	千代田太郎	男	2014/01/01-2017/12/31	氏名(姓)の訂正等 名義変更 グループの変更 中止、休止、モニタ追加・変更等
		チヨ ダタロウ	1935年10月10日	マティ登録期間	
002	29094402	千代田花子	女	2014/01/01-2017/12/31	氏名(姓)の訂正等 名義変更 グループの変更 中止、休止、モニタ追加・変更等
		チヨ ダハナコ	1935年10月30日		

2件

ご使用者サービス内容修正画面で、②「中止日」を選択します。③「入力完了」ボタンをクリックします。ポップアップ画面で、「処理を行います。よろしいですか?」とメッセージが表示されますので、④「OK」ボタンをクリックします。以上で操作が完了となります。

ご使用者サービス内容修正

お客様コード: 1053053000 株式会社千代田テクノ

整理番号:

個人コード: 29094381

使用者氏名(漢字): 千代田太郎 ●前方一致 ○部分一致

使用者氏名(フリガナ): チヨ ダタロウ ●前方一致 ○部分一致

検索

使用者情報

中止日: 休止日: ここで指定された内容は検索結果で表示された使用者全員に適用されます

変更前モニタ: 変更前装着部位: 変更適用日: 装着部位:

1件

整理番号	個人コード	使用者氏名(漢字)	使用者氏名(フリガナ)	性別	登録開始日	登録終了日	中止日	休止日	行いたい処理をクリックしてください
001	29094381	千代田太郎	チヨ ダタロウ	男	2014/01/01	2017/12/31	2017/07/01		連続休止 個別設定

②中止日を選択

③入力完了をクリック

入力完了 入力内容クリア 戻る

Web ページからのメッセージ

❓ 処理を行います。よろしいですか?

OK キャンセル

④OKをクリック

【モニタ毎の中止方法】

モニタ毎の中止処理を行うときは、ご使用者サービス内容修正画面で、①「個別設定」をクリックします。

ご使用者サービス内容修正

お客様コード：1053053000 株式会社千代田テクノ

整理番号：002
個人コード：29094402
使用者氏名（漢字）：千代田花子
使用者氏名（フリガナ）：チヨダハナコ

ユーザー情報

整理番号	個人コード	使用者氏名（漢字）	使用者氏名（フリガナ）	性別	登録開始日	登録終了日	中止日	休止日	行いたい処理をクリックしてください
002	29094402	千代田花子	チヨダハナコ	女	2014/01/01	2017/12/31			連続休止 個別設定

画面をスクロールダウンします。使用線量計情報の中止したい該当モニタ欄の②「中止日」を選択し、③「入力完了」ボタンをクリックします。

使用線量計情報

モニタ	装着部位	登録開始日	登録終了日	中止日	追加・変更開始日	追加・変更モニタ	追加・変更装着部位
1	FS	C	2014/01/01	2017/12/31			
2	JP	J	2014/01/01	2017/06/30	2017/07/01		

装着部位の説明
装着部位はコード化して表示しています。
A：頭,B：胸,C：腹,W：全身その他,J：手,N：手,M：手,H：左手,R：足,V：足
なお、予備用及び環境用については空白になります。
※G3モニタの「色」は、指定しても自動的に「標準の色」としてモニタが送付されます。

一旦、ご使用者サービス内容修正画面に戻ります。左下の④入力完了ボタンをクリックします。

④入力完了をクリック

入力完了 入力内容クリア 戻る

ポップアップ画面で、「処理を行います。よろしいですか?」とメッセージが表示されますので、「OK」ボタンをクリックします。以上で操作が完了となります。

「ガラスバッジWebサービス」の登録料は無料です（通信料はお客様負担となります）。登録のお申し込みは、最寄りの弊社営業所にて承っております。

《動作環境》ブラウザ：Internet Explorer6.0 SP2 以上

（現在はMicrosoft EdgeやGoogle Chrome等には対応していませんが、今後対応していく予定です。）

※FBNews No.390～No.401およびNo.410～No.434に関連記事が掲載されております。弊社ホームページやお手元のバックナンバーをご参照ください。

【お問合せ窓口】 TEL：03-3816-5210（線量計測事業本部）

● 弊社ホームページ：http://www.c-technol.co.jp ● e-mail：ctc-master@c-technol.co.jp

サービス部門からのご願い

平成28年度「個人線量管理票」のお届けについて

平素より弊社のモニタリングサービスをご利用くださりまして誠にありがとうございます。

平成28年度の「個人線量管理票」は、第4・四半期を含む計画使用期間（平成29年3月）のモニタの測定結果報告書出力時点で作成し、個人線量報告書と共にお届けしております。

この度、平成29年7月1日現在で「個人線量管理票」をお届けしていない方に対しては、返却されていない計画使用期間に「未返却」と表示させていただき、お届けする予定です。

お届けする時期は7月中旬以降を予定しております。

なお、使用期間の終了したガラスバッジがまだお手元にごございましたら、早急にご返却くださいますようお願いいたします。



編集後記

- まだまだジメジメとした梅雨が続いていますが、読者のみなさまはいかがお過ごしでしょうか？すでに梅雨明けした地域があるかもしれません。関東地方の梅雨明けは、昨年は7月29日、一昨年は7月10日でした。関東地方の平均梅雨明け日は、おおよそ7月20日とのことですので、梅雨明けまでもう少しの辛抱でしょうか。また、近年は大きな洪水などの自然災害が起きています。本年はそのような災害が起らないことを祈るばかりです。
- 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター教授の渡部浩司氏に、短寿命RIの安定供給を目的として開始された「短寿命RI供給プラットフォーム」事業についてご紹介いただきました。この事業により、RIを用いた物理、化学、生物学の基礎研究や工業、農業、医学、薬学、環境科学などの応用研究、学際的研究の推進やこれまでRIの利用がなかった分野まで拡大が期待されます。
- 放射性有機廃棄物フリーのベータ線測定方法について、お茶の水女子大学講師／放射線安全フォー

ラム理事の古田悦子氏にご解説いただきました。プラスチックシンチレーターを用いたベータ線の測定方法は、既存の液体シンチレーションカウンターを測定器として利用することができ、液体シンチレーターを用いた場合と遜色のない結果が得られています。我が国発の本技術が今後さまざまな分野において広く利用されるのが期待されます。

- 福島第一原子力発電所の事故を踏まえて原子力災害に対する防災対策が大幅に見直されました。また、原子力事故を想定した原子力防災訓練が原子力発電所立地自治体を中心に実施されています。弊社はこのような防災訓練に積極的に参加して、訓練の実施方法や人員配置方法、除染手順の提案や必要資機材の紹介、それらを用いた実地訓練行っております。原子力事故を起こさないことはもちろんですが、事故を想定した訓練や必要資機材の準備も非常に重要です。弊社は放射線防護の専門家集団としてこれからも積極的に貢献してゆく所存です。（小口 靖弘）

FBNews No.487

発行日／平成29年7月1日

発行人／山口和彦

編集委員／今井盟 根岸公一郎 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 河村弘
谷口和史 岩井淳 川口桃子 小口靖弘 高橋英典 高羽百合子 堀口亜由美

発行所／株式会社千代田テクノ

所在地／〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話／03-3816-5210 FAX／03-5803-4890

<http://www.c-technol.co.jp/>

印刷／株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円（本体371円）