

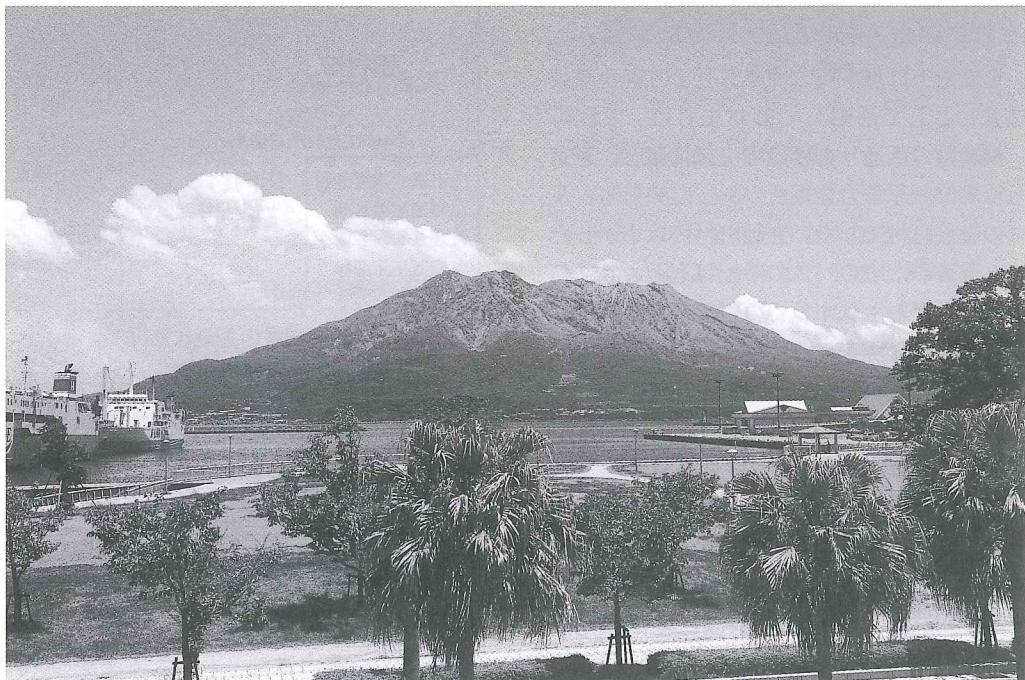
主任者ニュース

2013
9
第19号

放射線安全取扱部会

CONTENTS

1. 被災から2年半活動してきて考えたこと
2. 中性子の医療応用—中性子線治療におけるBNCTの役割と現状—
3. 食品中の放射性物質検査機関のISO規格適合審査の実情について
4. サーベイメータによる放射化物の測定



ドルフィンポートから望む桜島（撮影者：百島雅人氏）



公益社団法人
日本アイソトープ協会
Japan Radioisotope Association

発行日 平成25年9月1日
発行 (公社)日本アイソトープ協会
(連絡先)企画運営本部学術振興部学術・出版課

被災から2年半活動してきて考えたこと

現地の生の声を通して福島を見つめ直してみませんか。専門家として為すべきを見つけて行動するきっかけになれば嬉しく思います。
（広報専門委員会）



浪江町商工会長

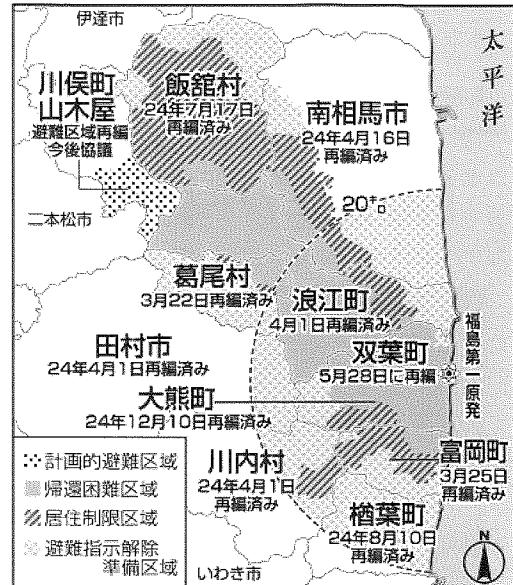
原田 雄一

1. はじめに

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故により平成23年3月12日に避難して以来2年半が経とうとしております。この間多くの皆様から温かい御支援をいただきここまでやってきました。心より御礼申し上げます。私は被災以来、浪江町が避難した二本松市において浪江町商工会副会長（昨年5月より会長）として、また「まちづくりNPO新町なみえ」を立ち上げ理事長（昨年5月より理事兼復興塾長）として活動して参りました。浪江町は、福島県の浜通りのほぼ中央に位置し、東京電力福島第一原子力発電所があった大熊町、双葉町の隣接町村でした。立地町村ではなかったため、避難のためのバスの手配はもとより、何の情報ももたらされず多くの町民がバラバラに避難しました。現在、浪江町民は、福島県内はもとより全国46都道府県及び海外に避難しております。その内訳は人口21,000人のうち県内に14,600人、県外に6,500人が避難しており、県内では福島市約3,700人、二本松市約2,500人、郡山市約1,700人、いわき市約2,300人、南相馬市約1,150人など52市町村（平成25年6月現在）に避難し、仮設住宅は県内7市町に約2,900戸（使用戸数約2,500戸）あり、その他民間の借上げ住宅、あるいは自己所有の住宅に居住しております。

2. まちづくりNPO新町なみえの活動

被災から2か月ほど経ったころ浪江新町商店会だった私達は、避難の長期化に伴い、「町民同



士の絆」や「アイデンティティ」といったものが薄れていくのではといった不安から、毎年私達が商店街で行なっていた「盆踊り」を開こうと一時帰宅の許可をとり、浪江町に残していた太鼓や笛その他の大道具、小道具を呼び出し、二本松市商店会の協力のもと二本松の夏祭りに「ふるさと浪江の盆踊り」として実現し、同市岳温泉の夏祭りに参加、また仮設住宅での盆踊りを開催し、いずれの会場でも散り散りになつた町民や仮設住宅にこもりがちだった町民が集い感動的な出会いの場を提供できました。これをきっかけとして、絆を結ぶ事業では浪江町の代表的なお祭り、「十日市祭」「クリスマスコン

サート」、町と共に県内外で「交流会」を行ってきました。浪江町民が代々繋いできた町の身近なお祭りや民族芸能の復興をしています。

このころ、警戒区域であった町内では一時帰宅された町民から盗難被害などの情報が多く寄せられ治安が不安視されました。一方で、町の放射線量は国、町が発表するとおりなのだろうか?という疑問もあり、私たちの町は私たちが守るため自分達が出来ることをしようと放射線量を測定しながら町の安全パトロールをすることとしました。現在も、定期的に商店街に定めた地点の放射線量率を測定しており、浪江町新町商店街や浪江駅周辺など住宅密集地の道路(アスファルト舗装)上で $0.7 \mu\text{Sv}/\text{h} \sim 2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 、局所的な汚染箇所では、数十 $\mu\text{Sv}/\text{h} \sim$ 約 $100 \mu\text{Sv}/\text{h}$ となっています。また、いつもお世話になっている二本松市役所の駐車場を高圧水で洗浄水を効率良く回収する機器を使用し除染を行ないました。この結果、表面汚染密度(Bq/cm^2)で舗装面の除染率(DF値)46.7%~75.8%という効果が得られ、二本松市役所へご報告させていただきました。

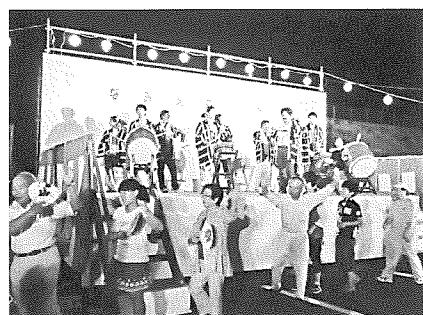


除染作業の状況(二本松市役所)

もう一つの柱である「まちづくりへの提言」では、早稲田大学佐藤滋研究室(都市計画)、浪江町、まちづくりNPO新町なみえの三者協定による「復興まちづくりワークショップ」を企画し、これを「復興塾」と称して、避難者が多い二本松市、南相馬市、東京都内の3地域で計7回のワークショップを行ない、これまでの

参加延べ人数が約500名になりました。この成果を平成24年8月「浪江町復興への道筋と24のプロジェクト」という形で発表、さらに平成25年3月にはこのプロジェクトを具体化した「浪江宣言」(6つのプロジェクトと10の提言)をまとめ、現在は浪江宣言の実証実験を行なっております。

(<http://www12.plala.or.jp/sinmachi-namie/>)



盆踊りの様子

3. 浪江町商工会の活動

浪江町商工会がとった最初の行動は、とにかく会員の安否確認を行なうことでした。当時はどこかで避難者が集まると聞けば伺い、また、メディアなどにも協力していただき、平成23年6月にはほぼ全員の会員の安否確認できました。

現在の商工会の活動の柱は大きく2つあり、一つめに会員の事業の賠償に関する相談、二つめに事業再開支援です。再開の大きな足掛かりとなる補助金制度の見直し等も視野に入れ、会員の立場に立った要望等を町等に精力的に行っております。しかし、昨年5月に会員が旧警戒区域にあった店舗倉庫において自殺するという悲しい出来事がありました。二度とこのような痛ましいことが起こらないよう、避難している会員の心配ごとや悩みをこちらから積極的に聞く、それでも会えない会員とは電話で生の声を聞く「商工コンシェルジュ」を立ち上げました。このように、商工会はこれまで以上に頑張ってきましたが、本年7月に第二の犠牲者が出

てしまいました。本来の経営相談に加え、心のケアも非常に重要な活動になっております。

4. 現在の課題

私達は、これまで多くの皆さんの御支援をいただきながら浪江町の復興、生活再建のため必死で頑張って参りました。しかしながらもう2年半の時が経ち、なんら先が見えない中、私達の知らない所でというより私達の手の届かない所で、私達や私達の子供、あるいは孫の生き方にまで影響のあることが次々に決まりつつあります。しかも世の中の関心は、原発問題から景気対策、法律問題等に移り、原発再稼働の話まで公然と語られるようになってきました。

このような中で、いま私達が直面している問題点は、

①事故に遭い放射能で汚染した双葉郡全体と住民をどうするか

この議論がもっと身近になされなかつたこと。一番肝心なこのことがなかつたために、どんな復興案が出ても自分達の様々な方向性が決められずにいます。復興案にしても各町村ばらばらです。その意味で私達が意識を共有しなくてはならない最低のラインは、「私達はコミュニティを追い出され壊された」ということです。

②物事を決める枠組みが変わっていない

これまで大きなプラントを作る際は立地自治体の承認が得られればできました。しかし、今回の事故で影響を受けたのは立地町村だけではありません。これからは最大のリスクが予想される市町村の同意が得られなければできない枠組みにすべきです。中間貯蔵施設建設の進め方を見ていて憤りさえ感じます。

③子供達にもっと目を向けて

今回の事故の最も大きな犠牲者である子供達の健康とこれから起こるであろう「偏見」や「差別」に対して、私達大人がしっかりととした枠組み作りを、今しなければならないと思います。

④理念を持って生きる

今ままの状態で復興という名のもとに物事が進んで行つてしまつたら、この災害とは一体何だったのでしょうか。この2年半でこの事故から学んだものは? 国は除染を行なつたからと私達を帰還させようとしておりますが、どのくらい除染されるのかわかりません。また、多くの町民が帰還を躊躇している最大の理由は、福島第一原子力発電所のリスクがあまりにも大きすぎる事です。廃炉まで40年はかかるであろうとか、炉内現状の詳細不明、廃炉技術はこれから開発するなどいわれ、さらに汚染水の漏水、停電による冷却停止など情報が入るたびに不安が大きくなります。福島第一原子力発電所のリスクは我々が生活する上で必要なリスクでありません。

リスクが無くなつた状態や相当軽減するまではしっかりと生活できる場所、伝統や文化を伝え、教育環境が整い、子どもたちが明るくのびのびと育ち、お年寄りにも優しい町づくり。以前と同じように普通に挨拶し、買い物をして、みんなが自由に将来の明るい夢や生きがいを見いだせる町。必要なのはコミュニティです。このように核となるところが出来て初めて復興の基盤が出来るのではないかでしょうか。前述した「浪江宣言」には、現状を踏まえ今後のコミュニティの在り方について検討し、コミュニティの作り方についての具体例と10の提言があります。その中で最も大事な提言は「浪江町協働復興まちづくり条例」の制定です。この様に町民がバラバラとなつてしまつた今、私達は町民や自治組織、NPO法人さらには企業や産業組織、まちづくり会社などを適切に条例上に位置づけ、地域の復旧、復興に向けて総力を挙げて取り組まねばなりません。その時この条例の考え方方が私達の心の拠り所となるはずです。そのためにも私達は「コミュニティ」について、もっともっと具体的に町民全体での議論を深め、将来にわたつて禍根を残さないような生き方を探つていかなくはならないと思っております。

中性子の医療応用 —中性子線治療における BNCT の役割と現状—



京都大学原子炉実験所
粒子線腫瘍学研究センター
中性子医療高度化研究部門

丸 橋 晃

◇ はじめに

中性子線治療の方式は用いる中性子のエネルギーにより2種に大別される。速中性子線治療法(fast neutron therapy; FNT)と中性子捕捉療法(neutron capture therapy; NCT)である。

FNTでは平均エネルギーが数MeVの中性子を用いる。人体を構成する分裂細胞+細胞外液の主成分は水であり、このエネルギー領域の主要な反応である水素原子核との弹性散乱反応が利用される(反跳陽子の生成)。平均エネルギーが小さい反跳陽子が物質の単位長(基本的にはマイクロメートル< μm >を使用)当たりに与える付与エネルギー(基本的な単位はkeV)は大きい。この物理量(単位: keV/ μm)を線エネルギー付与(linear energy transfer; LET)という。このような相互作用の過程を持つ中性子は高LET放射線に分類される。

NCTでは熱中性子や平均エネルギーが數eVから十数keVまでの熱外中性子を用い、体内に投入し意図的に局在させた特殊な同位元素との核反応過程を経て発生する高速荷電粒子を利用するものである。この特殊な同位元素は現状ではホウ素 ^{10}B のみである。ホウ素を用いるNCT、すなわちBNCTという用語が一般的である。熱中性子と ^{10}B の反応、 $^{10}\text{B}(n, ^4\text{He})^7\text{Li}$ により2本の重荷電粒子線(^4He と ^7Li)が発

生する。これらは速中性子線治療における反跳陽子よりさらに高いLETをもち最も効率的に細胞殺傷を引き起こす放射線である。

中性子は1932年、Giessen大学のBecker & Botheによってはじめて生成され、同年、Cambridge大学のChadwickにより同定された。中性子は陽子とほぼ同じ質量の非荷電粒子である。Stone R. S.は1933年に速中性子線による治療を提案し、1938年にはバークレー研究所で治療を開始した。高LET放射線は従来から放射線治療で用いられてきたX(γ)線(電磁波と総称)と異なり、細胞周期、酸素濃度、放射線損傷からの回復に影響されないなど強い細胞致死特性を持ち、従来の放射線に抵抗性の腫瘍に対して効果があると考えられている。FNTとNCTはともに高LET放射線治療法として低LET放射線では治癒に持ち込むことが困難ながんの治療法として期待された。

◇ 中性子源と照射効果量分布

FNTとNCTは全く異質な相容れないものと考えられていた。これは発生源にも反映した。前者は、外部照射用としてはよりよい深部線量分布のためビーム側方への線量付与(ペナンブラ)が許容できる範囲内でより高いエネルギー分布の中性子束を必要とした(核分裂反応中性子のエネルギーは低すぎた)。このため、外部照射用で吸熱反応を利用する中性子發

生源としては数十 MeV の陽子もしくは重陽子加速器が、(d, d) 反応や (d, T) 反応などの発熱反応を利用する場合には数百 keV 重陽子加速器が利用された。FNT では1回の照射の線量はおおよそ 1 Gy-Eq であり、発生中性子をエネルギー修飾(モデレイティング)することなく使用することから加速ビーム強度的には μA オーダーで十分である。このため中性子発生用ターゲットの除熱はそれほど重要な課題とはならない。このような加速器を利用した FNT 臨床研究は放射線治療研究として 1970 年代に世界的に広がり、日本でも放医研と医科研で取り組まれた。FNT 用加速器開発の研究も進展し、1980 年代前半には超電導サイクロotron を回転ガントリーとするデザインも提供されるにいたった。加速器以外に FNT 用としては ^{252}Cf が子宮頸がん治療等の小線源治療用として用いられた。

一方、NCT 用は熱中性子と ^{10}B の反応を利用するため望ましいエネルギーは高々熱外中性子までである。可能な限り熱外中性子（上限は数十 keV）に近いエネルギースペクトルをもつ中性子線束の発生という視点から 2.5 MeV 程度の陽子加速器の開発が試みられてきた。この場合の中性子発生用ターゲットは Li であり、有意な中性子束強度を得るには 20 mA を超える超強力な陽子ビーム強度が必要である。この試みはターゲットの熱対策問題が解決に至らず成功していない。このような状況もあり、BNCT 用中性子源は強度的に研究用原子炉のみが現実的であった。国内において 7 機の研究用原子炉が BNCT 臨床研究に利用されてきた。しかし、原子炉の運用の難しさから 2010 年以降稼働しているのは京都大学原子炉実験所 (KURRI) の研究用原子炉 (KUR) のみとなっている。

図 1 に FNT 用と NCT 用としてのそれぞれに代表的な加速器と原子炉からの中性子の体系

内分布を示す。前者に関しては線量の分布として、後者については熱中性子の分布として示した。共に照射野は 10 cm × 10 cm の場合である。FNT 用加速器はサイクロotron で、30 MeV 重陽子とベリリウムの反応による中性子である。加速器に関する図中の分布は深部線量分布と深部線量分布の 50 % 線量深度における横方向の分布である。50 % 線量深度は約 11 cm であり、その深度での 90 % 以上の線量（ピークの 45 %）域は約 8.5 cm でその深度におけるペナンブラ（半影域；線量が 80 % から 20 % に変化する領域）は約 2.5 cm である。この深部線量分布は $^{60}\text{Co} \gamma$ 線のそれと類似しているが、 ^{60}Co の場合の対応する横方向のそれぞれの値は約 9 cm と約 1 cm である。NCT 用の原子炉中性子は厚さ約 2 m のモデレータにより熱外化されたもので平均エネルギーは数 eV である。この熱外中性子に関する図中の分布は体系内で熱化された熱中性子の深部強度分布と深部強度分布の 50 % 強度深度における横方向の分布である。この熱中性子の分布は BNCT における線量当量分布にはほぼ同等である。この 50 % 強度深度は約 5.5 cm であり、その深度での 90 % 以上の線量（ピークの 45 %）域は約 4 cm でその深度におけるペナン布拉は約 2.5

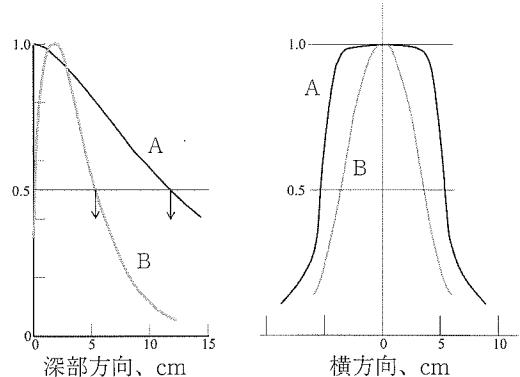


図 1 中性子の線量・熱外中性子分布

A : d(30)-Be 中性子の相対線量分布

B : 原子炉熱外中性子照射による相対熱中性子束分布

cmである。この分布から医師が判断した照射計画域にピーク線量の1/3以上を照射する計画を立てた場合、その照射域の周りに2.5 cm～3.0 cmのマージンを見込むコリメータの設定が必要になる。以上の結果から、重荷電粒子線はもとより γ 線に比べても中性子線は分布的に不利である。しかしながら、それでもなお中性子が用いられる理由は上記した高LETという生物学的効果に影響するもう1つの物理量である。すでにお気付きのことと思われるが重要なことは速中性子と熱外中性子は治療効果において相補的関係にあることである。線量分布的には速中性子が優れているが、熱外中性子は ^{10}B との反応というもう1つの物理量を持ち、その特異性が極めて魅力的な性質として機能する。速中性子の場合でも、体内における速中性子の熱化は十分考慮されるべき物理現象である。両者の融合的治療展開が期待されるところである。

◇ 速中性子線治療法と中性子捕捉療法に関する臨床研究の歴史的経過

FNT用とNCT用の臨床研究はお互い疎外された環境の中で全く異なる分野の研究者に担われてきた。前者は放射線治療分野の放射線腫瘍医の主導のもとに、後者は最悪の癌である神経膠芽腫に関する脳外科医並びに悪性黒色腫に関する皮膚科医の主導のもとに展開されてきた。

前述したようにFNTの臨床研究は1970年代に放射線治療研究として世界的に広がり、日本でも放医研と医科研で取り組みが行われた。これらの結果、唾液腺腫瘍、頭頸部腺様囊胞癌、骨・軟部組織肉腫、前立腺腫瘍、頭頸部腫瘍などに有効性が認められたがその効果は正常組織に対しても同じで、線量分布や照射技術的問題から晚期障害が少くないことが判明した。高LET放射線治療においても腫瘍への線

量集中性が重要であるとの認識から、日本ではFNTは1980年後半にその幕を閉じ陽子線や炭素線を用いた荷電粒子線治療に引き継がれることとなった。

一方、BNCTの臨床研究対象は10年前まで熱中性子照射による神経膠芽腫(glioblastoma;以下、GBM)と悪性黒色腫(malignant melanoma;以下、MLM)にほとんど限られ、その優れた特性にもかかわらず日本における治療症例数は年間平均数例に限られていた。BNCTの展開をはかる上に決定的な条件は照射場を提供する研究施設に臨床主導者としての放射線腫瘍医と関係スタッフの存在である。しかし、現実的にはほとんど皆無の状態であった。これは世界的な現象であり、1990年代後半からのBNCTの世界的衰退現象として現れている。この間の極めて大きな成果は、BNCTの一方の主役である癌組織若しくは癌細胞に高濃度に集積し毒性が無視できる ^{10}B 薬剤が日本で開発されたことである。GBMに対するソディウムメルカプトドデカボレイト(以下、BSH)とMLMに対するボロノフェニルアラニン(以下、BPA)である。これらの薬剤は他の癌組織にも有効であることは臨床的に示され、近年の日本のBNCTの先駆的研究の進展を支えるものとなっている。

BNCTが放射線腫瘍医のもとで放射線治療の一環として、全組織・臓器のがんを対象とする治療法としての展開が待たれていた。

◇ 中性子捕捉療法の歴史的転換点

2001年12月、BNCTの臨床研究に転機が訪れた。京都大学原子炉実験所(KURRI)の研究用原子炉(KUR)を用いて放射線腫瘍医の主導による再発耳下腺がんへのBNCTがなされた。熱外中性子とBPAの組み合わせによる世界で初めてのGBMとMLM以外の部位に対する取り組みであった。この結果はBNCT

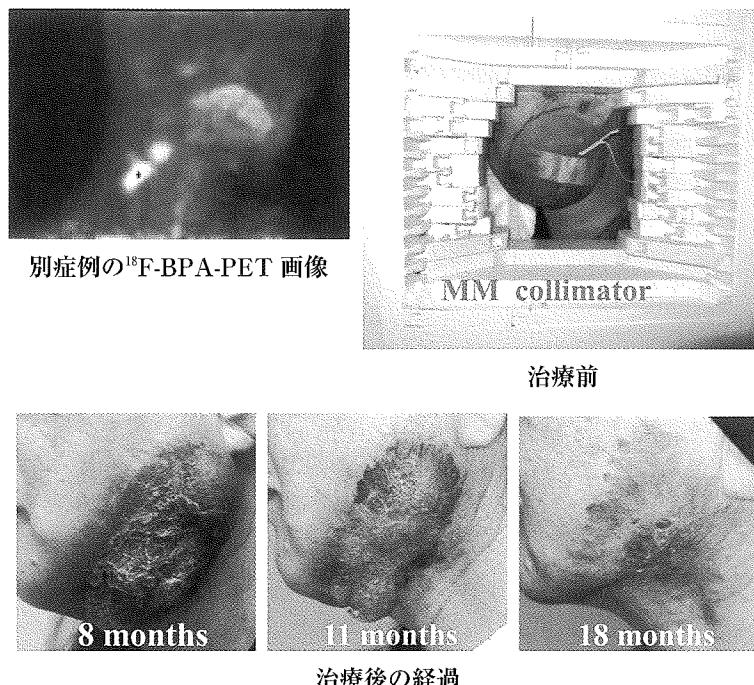


写真1 ¹⁸F-BPA-PET 画像と BNCT 施行前後の進行性頭頸部癌+皮膚黒色腫の経過画像
(川崎医科大学 平塚教授提供)

の腫瘍細胞の選択的障害という BNCT の原理的特徴を見事に示すものとなった。この症例を契機に熱外中性子による肺がん、肝臓がん、中皮腫、乳癌転位がん等への BNCT の適応拡大と症例数の増大の取り組みが精力的に行われた。BNCT 臨床研究の典型的成果を写真1に例示した。癌組織への BPA の集積を ¹⁸F-BPA-PET でデータ化し、これをもとに適応を判断する。BNCT はこの段階で結果を予測できる効率的な治療法でもある。写真の治療症例は 10 cm を超える再発癌組織である。2回の照射により癌組織は根絶された。このような優れた可能性を持つ BNCT の社会的普及の実現を願い KURRI 共同利用医療グループは KUR を用い極めて精力的に臨床研究を推進している。しかし、研究用原子炉を普及することの困難性と長期の定期検査は研究用原子炉が医療機器としての条件を満たし得ないものである。

この状況を開拓するために KURRI では BNCT 用加速器中性子源の開発を行った。ステラファーマ（株）と住友重機械工業（株）との共同開発により 2008 年 10 月熱外中性子発生システムが完成し、2009 年 3 月放射線発生装置施設の認可を得、運転が開始された。本装置は BNCT の普及を目指す医療装置としての認可を前提として建設された。本加速器は外部イオン源 H⁻ 加速サイクロトロンであり、加速エネルギーは 30 MeV である。ビーム強度は 1 mA 中性子発生用ターゲットは Be（厚さ約 5.5 mm）である。この厚さは水素ガスによるブリスタリングと熱応力破壊を考慮し、30 MeV 陽子の Be に対する飛程 5.8 mm に対応させたものである。写真2に加速器（HM 30）とビームラインを示す。このビームラインの延長上（別室；ビームライン室）に中性子発生 Be ターゲットがあり、約 70 cm 厚の減速体系の

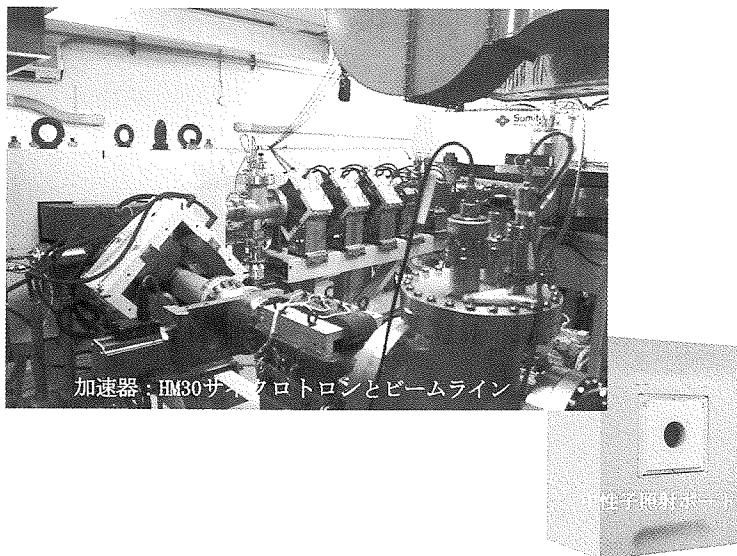


写真2 加速器 NCT用設備

下流に照射室（別室）がある。ビーム強度は1mAであり照射場のフラックスは約 1.5×10^9 n cm⁻² sec⁻¹でKUR照射場の約1.7倍の値である。2009年4月以降現在までの同一のターゲットでのビーム使用量は1mA換算で約200時間（本格的稼働において予定している年間使用量約300時間）でありターゲットとしての健全性は保持されている。本システムを用い、医療装置としての認可をえることを目的に2012年10月に開始された治験がつづけられている。BNCT用に開発されたこの加速器は期せずしてFNT用としてもビーム強度的に有り余る程の能力を有している。将来、FNTとNCTの有機的展開を期待できるものとして重視している。この加速器開発の成果を受けて、加速ビームエネルギーの最適化を含めたBNCTシステムの最適化が次の課題である。

◇ BNCT高度化に関わる今後の課題

中性子照射場は $^{10}\text{B}(\text{n}, ^4\text{He})^7\text{Li}$ 、 $^{14}\text{N}(\text{n}, \text{p})^{14}\text{C}$ 、 $^1\text{H}(\text{n}, \gamma)^2\text{H}$ ガンマ線や照射装置から発生する速中性子と γ 線の混在場である。線質に応じて

区別した線量当量の量的評価が必要となる。これを前提とした今後の主な課題を箇条書きで下記する。

- ① 線質別線量評価とリアルタイム測定
- ② ^{10}B 薬剤の体内濃度分布評価（PET等）とリアルタイム測定（PET）
- ③ ①と②を組み込んだ線量分布最適化計画（治療計画）プログラムの開発
- ④ 新 ^{10}B 薬剤開発とDDS開発
- ⑤ BNCTに関わる生物学的知見の深化（細胞周期や休止期細胞の薬剤動態等）

参考文献（全体に関わるものとして）

- 1) 特別研究「粒子加速器の医学利用に関する調査研究」最終報告書、NIRS-R-10、1984
- 2) JIRA Virtual Museum; http://www.jira-net.or.jp/vm/chronology_radiantrays.html
- 3) M. Suzuki et. al; Impact of accelerator-based boron neutron capture therapy(AB-BNCT) on the treatment of multiple liver tumors and malignant pleural mesothelioma, Radiotherapy and Oncology, 92 (2009) 89-95

食品中の放射性物質検査機関のISO規格適合審査の実情について



東海大学医学部付属大磯病院

長谷川 隆幸

はじめに

2011年3月11日の東日本大震災に端を発した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故による放射性物質の拡散は国内のみならず国外からも不信感が広がることになった。

事故後の混乱の中、放射線業務に携わる人でさえ、放射線の単位とその扱い方に戸惑う人も多い中、日本国民の多くが放射線や放射能、放射性物質、外部被ばく、内部被ばく、人体影響など様々な用語や解説に戸惑ったと思われる。

事故直後は外部被ばくに目が向けられ、環境中の放射線量の測定結果に一喜一憂し、福島県から離れた東京都心でもホットスポットが点在することが明らかになり、一般の人が放射線測定機器を求める事態にもなった。その後、避難区域や準避難区域などの原発近くでない場所では外部被ばくが落ち着きを見せる中、今度は内部被ばくに対して国民の目が向けられるようになった。

事故直後、厚生労働省は食品中の放射性物質の暫定規制値を通知し、原子力災害対策本部の決定に基づき、暫定基準値を超える食品が市場に流通しないように出荷制限などの措置をとり、その後、より一層の食品の安全と安心を確保するために、長期的な観点から新たな基準値を設定し運用している。

このように、食品中の放射性物質の測定のニーズの高まりは、日本国内は基より、国際的に食品、食品原料、及び関連する飼料、土壤等の放射線量を、国際規格 ISO/IEC17025に基づいて認定された試験所・試験施設で測定することが要求されるようになった。厚生労働省は食品

等の放射線を測定する方法を示唆し、農林水産省は放射線を測定する試験機関を公表するようになった。

これに伴い、放射線測定器を入手し、国際規格による認定を要望する試験所・試験施設が増加しているが、放射線測定試験の経験を有する試験所認定審査員が極めて少ないと状況である。

本報では、このISO/IEC17025の試験所認定審査において、放射線管理と放射線測定の経験を有する技術専門家（Technical Expert）としてペリージョンソン ラボラトリー アクレディテーション インク（PJLA）社が行う審査に同行した経験からその実情を報告する。

ISO/IEC17025規格とは

ISO/IEC17025規格は「試験所及び校正機関の能力に関する一般要求事項」と呼ばれ、材料試験や、試験に使用する機器の校正を行う事業者の認定のための規格である。

品質（ISO9001）や環境（ISO14001）の規格に基づく認証と大きく違うのは、試験所又は校正機関の認定を取ることにより、試験成績書や校正証明書などの『製品』に認定のマークをつけることが出来る点である。

そのため、ISO9001やISO14001のように、運営管理上の要求事項だけでなく、試験や校正の精度管理に関する技術的要件事項に関しても厳しく審査されることになる。

現在、ISO/IEC17025について、食品中の放射性物質検査の認定機関は以下の2機関のみである。

・ペリージョンソン ラボラトリー アクレディ

テーション インク (PJLA)
・財団法人日本適合性認定協会 (JAB)
審査において、審査員は管理上の要求事項として経営者からのトップインタビューや管理上の書類の審査を行い、さらに、技術上の要求事項について客観的な証拠による妥当性の確認を行う。放射性物質の検査においては、放射性物質としての取り扱いや、汚染、放射線特有の現象、測定装置の取り扱いなど特有な事柄が多いのが特徴であり、PJLA では放射線の取り扱いや測定に精通した技術専門家を同行させ、より客観的な審査が行えるようにしている。

審査の流れ

一般的には1日目（8時間）に管理上の要求事項（ISO/IEC 17025:2005（JIS Q 17025:2005）第4項）として、組織、マネジメントシステム、文書管理、依頼、見積仕様書及び契約の内容の確認、試験・校正の下請負契約、サービス及び供給品の購買、顧客へのサービス、苦情、不適合の試験・校正業務の管理、改善、是正処置、予防処置、記録の管理、内部監査、マネジメント・レビューの各項のヒアリングと書類の確認・審査を行う。

2日目（8時間）に技術的要件事項（ISO/IEC 17025:2005（JIS Q 17025:2005）第5項）として要員、施設及び環境条件、試験・校正の方法及び方法の妥当性確認、設備、測定のトレーサビリティ、サンプリング、試験・校正品目の取り扱い、不確かさの確認、試験・校正結果の品質の保証、結果の報告の確認・審査を行う。

技術専門家は2日目のみ参加し、実際に食品中の放射性物質試験についてサンプル食品を用い、測定プロセスについて順を追って実践する形式で審査する。なお、試験の手順や方法の妥当性評価としては、厚生労働省による「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」及び「緊急時におけるガンマ線やスペクトロメトリーのための試料前処理法」などに準拠しているかを試験所が作成した標準手順書を中心に確認

する。その後、妥当性の確認や不確かさの推定のための記録を確認する。以下に手順ごとの検査の要点を紹介する。



図1 書類審査時

測定装置の種類

事故直後の混乱の中、厚生労働省は2011年11月に「食品中の放射性セシウムスクリーニング法の一部改訂について」を通達し、暫定基準値よりも確実に低い検体を判別するためのスクリーニング法を策定した。本法ではNaIシンチレーションスペクトロメータによる方法などを例示している。この方法は2012年4月の新基準値に対しても、工夫によってスクリーニングの手段としては機能しているが、残念ながら国際的なISO規格に基づいた審査を満足できるものではない。事故直後にいち早く測定装置を購入する動きが高まる中、安価で購入まで時間がかかるNaIシンチレーションスペクトロメータを購入する試験所もあったが、現在では、新基準における測定精度を担保するために、ゲルマニウム半導体を用いた測定装置の設置が一般的となっている。

測定の手順と審査時に留意する点

＜検体（食品、水、土壤など）の受け入れ＞

検体は一般的には宅急便で送られてくる。受付では検体のコンタミネーション防止や冷凍・冷蔵物に対する冷蔵庫を設置するなど様々な工夫がなされている。

前処理室や測定室へ高濃度の検体が無造作に運ばれ、汚染の危険から回避するために受付附近においてサーベイメータでの測定を行うことが一般的である。ある一定線量率以上のものは簡易測定での結果とともに測定依頼者に返送する場合や、この先の測定の際に高濃度であることで汚染や測定者自身の被ばくなどが生じないように十分注意しながら測定を進める。



図2 受付でのサーベイ

<前処理>

ゲルマニウム半導体での測定では2リットルマリネリ容器もしくはU8容器(100ml)を用い「放射能測定法シリーズ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」(文部科学省編)に準じて行うが、多くの測定事例を踏まえ、2012年3月に「食品中の放射性物質の試験法について」として厚生労働省より通知があり、この中で試料の洗浄(土壤除去)方法やお茶や乾燥きのこなどの前処理法の変更が加えられた。

食品の前処理は測定精度を左右する重要な因子であり、食品ごとに決められた前処理がなされているかについて、実際の食品のサンプルを用いて審査を行っている。

一例として、みかんの前処理の場合、前処理法には「可食部を用いる」とあるので、皮をむき、マリネリ容器になるべく隙間のないように詰めるため、包丁で刻む。また、キュウリの場合は、ヘタは可食部とは認めないので両側のヘ

タを落とし、みじん切りにする。

厚労省からの通達には、前処理に由来する測定精度の低下を防ぐため、固体試料においては水分が分離しないように注意し、測定容器への充填は空隙がないようにし特に検出器に近い底面での空隙には注意することとあり、このようなところも審査のポイントとしてみている。



図3 前処理

<測定>

「食品中の放射性物質の試験法について」では、測定条件の設定として、標準線源を測定し、測定結果X及び測定結果に伴う計数誤差による標準偏差 σ_X の推定値を得る。基準値濃度における X/σ_X が10以上になるように、試料容器及び測定時間を設定する。検出限界値が基準値の1/5の濃度以下であることを確認する。

実際の測定では装置や制御ソフトによって異なるが、満足できる不確かさの範囲(定量下限値)になるような測定時間(2000秒前後)の設定を行うか、リアルタイムの測定値に応じて定量下限値以下になると自動で測定を停止する機能(検出下限値の算出としてCooperの方法を用いる)を用いるため、測定時間の代わりに下限値の設定を行う。

大多数の検体は検出限界値以下となることが多く、数Bq/kgレベルの測定となるので測定時間は長くなることが多く、測定の精度管理は高い次元が求められる。

<結果報告>

2012年4月からの基準値では、一般食品が

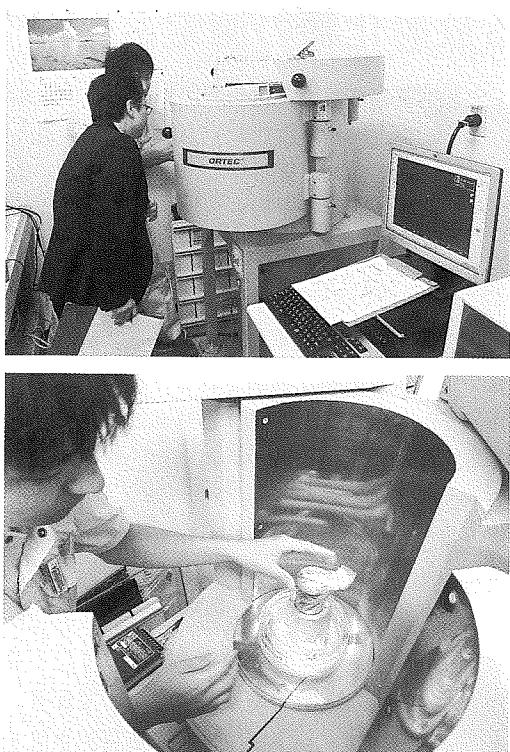


図4、5 Ge半導体測定器に検体を挿入

100 Bq/kg、乳幼児食品・牛乳は 50 Bq/kg、飲料水は 10 Bq/kg であり、この 1/5 量（それぞれ 20 Bq/kg、10 Bq/kg、2 Bq/kg）に対し検出した濃度又は不検出（ND）を記載する。測定依頼者が 1 Bq/kg 単位の詳細なデータを求めた際は、定量下限値を勘案し、記載することもある。国際取引では国内の 20 Bq/kg 以下を不検出とする精度では満足しないことが多く、より精度の高い測定値が求められている。

技術専門家としての視点・印象

各試験所に共通することであったが、放射性物質の汚染について無関心であった。ほとんどの試料は放射性物質の濃度レベルは低いものの、土壤や廃棄物をはじめ、ごく少数ではあるが食品にも比較的濃度の高い放射線性物質を検出するものもあるなか、汚染による他の試料へのコンタミネーションや測定装置への汚染な

ど、放射性物質を扱ううえで測定環境をいかに守るかの認識が低いと感じた。

ISO/IEC17025では試験・校正の方法及び方法の妥当性や測定の不確かさの推定における計算の間違いや考え方の間違いなどを確認する。とくに、誤差(error)と不確かさ(uncertainty)を混同しないで使っているか、さらには統計処理がきちんとされているかを細かに確認しているが、この分野においても考え方方が難しいので、最初から満足のいく結果を出すのは難しいようである。

また、測定の不確かさの推定や外部との試験所間比較の際に低濃度の標準線源があると、とても有用であると感じている。食品中の放射性物質の基準値は 10～100 Bq/kg があるので 30～50 Bq/kg 程度の標準線源を用いた装置やデータの精度管理が求められる。現在は福島で入手したはちみつを用いていることが多い。

手厳しい意見を出したが、全般的には書類の管理やデータの管理などは筆者が所属している病院より遙かにきちんとしており、このようなシステムを是非とも病院にも取り入れたいと考えている。

最後に

福島第一原発の事故に伴い、国内の放射線関係の方々はいろんな形で国民に技術や知識の提供を行ってきたと思われる。筆者は日常業務として病院で診療放射線技師として患者さんに対し、診断能の高い画像を提供することで社会的な貢献を行っていたが、放射線被ばく（特に医療被ばく）や放射線測定・計測に関する探究を行ってきたことが技術専門家として、新たな分野で社会貢献できたことをうれしく思う。

今回このような機会をいただいた大分県立看護科学大学の甲斐倫明先生、東京医療保健大学の小野孝二先生、日本赤十字看護大学の福井小紀子先生、審査でお世話になっている PJLA の國富佳夫代表、小島邦恵審査員、守田加奈子氏に御礼申し上げます。

サーベイメータによる放射化物の測定



独立行政法人理化学研究所
仁科加速器研究センター

上 蓑 義 明

1. はじめに

放射線障害防止法では、放射性同位元素であるか否か、すなわち入口の判断は、核種の総量と濃度が、ともに下限数量を超えるか否かによって決まる。また、汚染物などで管理下にある物質についても、濃度が低くクリアランスレベルを超えていないことが証明されれば、管理から除外され（出口）、放射性でない通常の物品として扱うことができる。

放射線障害防止法は2010年5月に改正され、加速器の運転にともなって生じる放射化物が新たに規制されることになった。これによって、放射化物の流れは図1のようになる。

放射線発生装置の使用室内はふつう線量率が高いため、室内では放射化の有無を判断することは難しい。そのため、通常は使用室から物品

を持ち出す際に測定することになる。測定の結果、有意な放射線が検出されなければ、一般的の物品として扱うことができ、外部の工場で修理することや、一般区域での再利用、廃棄などが自由に行える。

有意な放射線が検出された場合、その物品は放射化物として管理することが必要になる。すなわち、再利用が予想される物品は、放射化物保管設備においての保管が求められ、また不要なものであれば、保管廃棄設備において保管、あるいは日本アイソトープ協会に直接引き渡すことになる。発生装置を有する他の事業所において再利用可能であれば、譲渡することもある。また、放射化した物品であっても、管理区域内であれば、試験や修理、あるいは切断、切削、溶接などの加工が可能である。当然のこと

であるが、加工によって放射性物質が飛散する可能性がある場合は、十分な安全対策が必要である。

このように、測定は非常に重要な行為であるが、基準などは示されていない。測定は規制への入口の判断であるから、基準は下限数量に基づけばよいというのは、理論的には正しいと思われる。しかしながら、下限数量の物品が世の中に回るのには抵抗がある。一方、出口を決めるクリアランスレベルよりも低くすると、矛盾が生

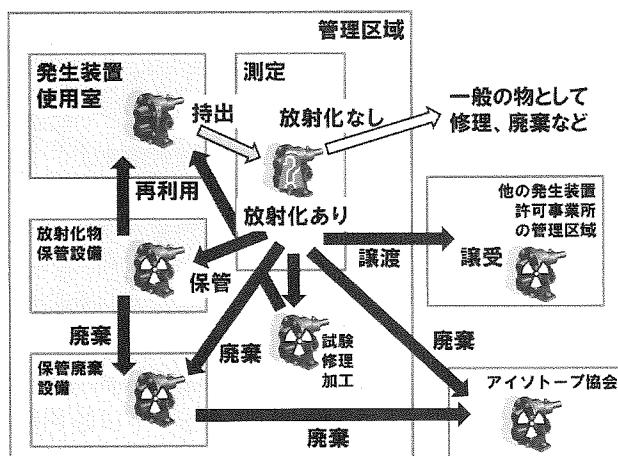


図1 放射化物の流れ

じてしまう。したがって、規制当局による講習会などでは、クリアランス濃度を検出可能な感度で測定することが推奨されている。

放射化物では、物質中にさまざまな核種が混在して生成され、時間とともに組成と濃度が変化するため、日常的な管理を核種に基づいて行なうことは極めて困難である。

加速器施設で発生する多くの放射化物は、ビームロスや照射にともなって発生する2次中性子や制動放射線によって、加速器の構成材料である鉄、ステンレス鋼、アルミニウム、あるいは建物のコンクリートなどが放射性になったものである。この場合、生成する放射性核種の相対的な組成は材質に大きく依存するが、ビームの種類やエネルギーによる差異は比較的小さい。したがって、代表的な放射化物については、線量率と放射能濃度を関連付けることが可能である。

ここでは加速器施設の日常的な放射線管理に資するため、管理区域から持ち出す物品の検査を想定し、もっとも一般的な直径2.5 cm、高さ2.5 cmのNaI(Tl)シンチレーション検出器を装備したサーベイメータを用いて表面を測定した際の、線量率と放射能濃度の関連を計算し¹⁾、サーベイメータによって放射化物の判定の可能性を評価した。

2. 線量率計算

測定対象物は、普通コンクリート、鉄、ステンレス鋼、アルミニウムとし、質量は10 kgおよび1トンとした。鉄やステンレス鋼では、ネジやナットのような小さい物品を測定する場合もあるが、同じような条件で照射された物品は集めて容器に収納して検査することを想定している。

対象物は円柱形状とし、10 kgの場合は普通コンクリート（密度：2.27 g/cm³）とアルミニウム（2.69 g/cm³）では直径24 cm、鉄（7.86

g/cm³）とステンレス鋼（7.93 g/cm³）では直徑20 cmとした。1トンの場合は、厚さを1.25 MeV γ 線に対して約7 mfp（平均自由行程）とした。直徑は、普通コンクリート：105 cm、アルミニウム：97 cm、鉄：98 cm、ステンレス鋼：97 cmである。

放射化によって生成する核種は、文献2に基づき、コンクリートについては陽子線施設と電子線施設、鉄、ステンレス鋼については電子線施設の場合とした。アルミニウムについては電子線施設に関する文献3の値を用いた。なお、文献1では5年間照射、30日冷却、文献2では20年照射、30日冷却の条件で計算されている。

それぞれの試料中の放射性核種の濃度は、文献に与えられた相対値は変えずに、すべての放射性核種濃度のクリアランス濃度に対する比の合計が1になるように決めた。なお、放射性核種の分布は全体積にわたって均一とした。

検出器の位置は、市販のシンチレーションサーベイメータで通常使われている直徑2.54 cm、長さ2.54 cmのNaI(Tl)シンチレータを、図2に示すように、円柱形状の測定対象物の底面の中央に、表面から3 cmの位置に検出器の中心を置いて測定すると仮定した。市販の機器の検出器ヘッドの表面から実効中心までの距離はふつう2 cm以下である。通常、測定の際は対象物に検出器ヘッドを密着させるため、実際の検出効率は計算値よりも大きいと考えられる。

検出器の領域を横切る光子束を、電磁カスケ

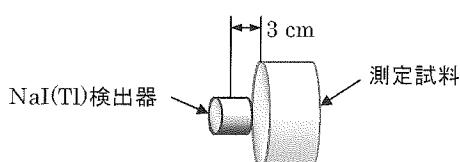


図2 線量計算の体系

ードモンテカルロコード EGS4⁴⁾を用いて計算し、光子束に 1 cm 線量当量換算係数を乗じて線量を求めた。

3. 計算結果

計算結果を表 1 に示す。線量率は物質、照射ビームに関して大きな差異はなく、10 kg の場合は 22 から 43 nSv/h、1 トンの場合は 52 から 75 nSv/h の範囲であった。

自然放射線の線量率はおよそ 70 nSv/h であり、保守的（検出限界を過小評価しない）に γ 線エネルギーを 0.8 MeV と仮定すると、全検出効率から求めた計数率は 11.6 cps となる。

サーベイメータの時定数を 30 秒に設定すると、検出限界計数率は 1.94 cps、すなわち 12 nSv/h となる。時定数を 10 秒に設定しても検出限界計数率は 3.46 cps であり、検出限界は 21 nSv/h である。ただし、3 秒に設定すると検出限界は 40 nSv/h (6.7 cps) になる。

自然放射線場である著者の居室において、1 cm 線量当量率と計数率を表示可能な NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータ（日立アロカ社製 TCS-172B）を用いて測定した結果は 50 nSv/h と 21 cps であった。この値での検出限界は時定数 30 秒で 6 nSv/h (2.6 cps)、10 秒で 11 nSv/h (4.6 cps)、3 秒で 21 nSv/h (8.7 cps) である。

表 1 から、市販されている通常のシンチレーションサーベイメータを用いて、時定数を 10 秒以上に設定すれば、クリアランス濃度に放射化した物品を十分検出できることが分かる。さらに、通常放射化は不均一に発生し、表面など、もっとも強く放射化された部位を測定するため、平均放射能濃度に対する検出感度はさらに高い。

照射から半年以上経過した普通コンクリート、鉄、ステンレス鋼では、クリアランス濃度に対する比は ^{60}Co が半分以上を占める。一

表 1 放射化試料の表面から 3 cm における 1 cm 線量当量率 (nSv/h)

物質	加速器施設	試料質量	
		10 kg	1 トン
普通コンクリート	30 MeV 陽子	22.1	52.3
	30 MeV 電子	23.5	56.3
鉄	10 MeV 電子	38.5	68.9
	30 MeV 電子	36.3	63.7
ステンレス鋼	10 MeV 電子	42.5	75.1
	30 MeV 電子	33.0	57.9
アルミニウム	1 GeV から		
	10 GeV 電子	26.8	58.3

方、アルミニウムでは ^{22}Na が支配的である。これらを代表核種とした場合、表面線量率から放射能濃度の推定が可能であり、数値等が文献 1 に示されている。

4.まとめ

普通コンクリート、鉄、ステンレス鋼、アルミニウム放射化物に残留する典型的な放射性核種分布を基に、NaI(Tl) シンチレーションサーベイメータを用いてクリアランス濃度の放射能が検出できること、したがって放射化の判断が十分可能であることを示した。

文 献

- 1) 上巣義朋, 日本放射線安全管理学会誌, 12(1) pp.36-40 (2013).
- 2) 放射線安全規制検討会 クリアランス技術検討ワーキンググループ「放射線障害防止法におけるクリアランス制度の整備にかかる技術的検討について（中間報告書）」、文部科学省 科学技術・学術政策局、平成 18 年 6 月 (2006).
- 3) S. Ban et al., *Nucl. Sci. Tech.*, Suppl. 4, pp. 168–171 (2004).
- 4) W. R. Nelson, H. Hirayama and W. O. Rogers, "The EGS4 code system", SLAC-Report-265 (1985).