Photo Hironori Hirano

Index

福島第一事故７周年に思うこと……鈴木　篤之　1

放射線事故後の迅速評価における緊急時線量測定技術の最新動向
～第13回放射線モニタリングに係る
国際ワークショップにおけるパネルディスカッション～
……ステファン・マッキーバー　6

「第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ
(The 13th International Workshop on Ionizing Radiation
Monitoring：IWIRM13)」が開催されました！……　11

表面汚染サーベイメータのJCSS取得に向けて……　14

ラディエーションモニタリングセンター青森　開設紹介……　17

第三種放射線取扱主任者講習会……　18

〔サービス部門からのお願い〕
ご使用者の変更連絡はお早めに……　19

＊誌名の「FBNews」は、弊社が行っていた「フイルムバッジ(FB)」による個人線量測定サービスに由来しています。

福島第一事故７周年に思うこと

鈴木　篤之*

１．はじめに

「起きてはならない事故は、やはり起きてはいけなかった。」安全な原子力平和利用に係る研究教育と実務に半世紀にわたり携わってきた者にとって、事故後何年たっても、これ以外の想いは浮かんでこない。

しかし、事故によって途方に暮れるほどの影響を蒙られた方々のお気持ちに思い致すとき、そのような悔恨の念のみではすまされない。原子力安全とは今後とも付き合わざるを得ないという現実もある。７周年を機に、原子力安全に関する今後の考え方への参考に少しでもなればとの願いから小見を述べてみたい。

「７周年を迎えて、なにか？」とお誘いただいた、本誌編集委員の加藤和明先生に深甚の謝意を表する。

２．原子炉事故と低線量リスク

この二つには、共通点がある。いずれも、「絶対安全はない」と裏腹の関係の「どのくらい安全であれば、安全なのか？」に深くかかわっている。福島第一事故は、この二つの問題への答えを改めて問いかけている、とも考えられる。

原子炉事故については、当然のこととして、重大事故対処への徹底が求められ、「絶対安全」はないことを前提に、しかしそれに限りなく近づく方向がとられている。

一方、低線量リスクは、避難されている方々の帰還に向け除染等の取組みが継続的に実施され徐々にその成果が出つつあるようでもあるが、長期の低線量リスクを懸念される人々が決して少なくない。この問題の深刻さを如実に物語っている。

米国科学アカデミーの報告書をはじめ多くの事故調査報告書は、放射線の影響リスクよりも結果的にそれが不要だった人々の避難による健康リスクの方が著しかったのではないか、と指摘している。低線量リスク問題は、それが原子炉事故と同時に発生した場合には、この避難リスクをも含めて考えざるを得ないところに問題の難しさがある。

３．ワインバーグの洞察

原子炉事故の想定と低線量リスクの評価にはこの共通性があることを、最初に看破した科学者は、軽水炉を発明し原子炉物理の父として知られるAlvin Weinberg博士である。原子力には、科学だけでは割り切れない「超科学性」があることを認め、「科学と超科学」と題するエッセイを科学誌Minervaに寄稿した。

1972年のことである。そんな古い話と一笑に付されそうであるが、博士は、その後も類似のタイトルの著作を、米国物理学協会から1992年に上梓するなど、問題意識は生涯変わらなかった。そのさらに20年後に福島第一事故が起きた。

超科学「Trans-Science」という造語を思い

＊ Atsuyuki SUZUKI　東京大学 名誉教授 ／ NV研究所 特別研究顧問

ついたのは、ちょうど、自身が所長を務めるオークリッジ国立研究所が低線量リスクを巡る議論に拘わるようになったときだったという。同氏によれば、「リスクに対する公衆の過剰な観方が原子力の直面する困難のルーツにある。この問題は、確かに科学に向けられた設問であるが、科学では答えられない。」これを超科学と称した。

「この問いは放射線のみに限らない。20世紀の間に人々の平均寿命が20歳も長くなったにも拘わらず、我々は、ごくわずかな発がん性環境物質のことをますます心配する。この懸念は、低レベルになるほどに科学では扱いきれないことをいずれ学ぶに違いない。」と洞察する。

ワインバーグは、しかし、この問題から逃げたわけではない。この意味での科学の限界を探究し続けた。「The First Nuclear Era」では、彼らが主導した第一世代原子力の知的高揚感と楽観主義を省察しつつ、超科学と折り合いをつける未来の原子力の在り方を模索していた。

４．サイモンの科学

超科学は、科学と社会の関わり合いに大いに関連しており、原子力に特有な問題とは限らない。多かれ少なかれ多くの科学技術に関係している。

この科学技術の設計や利用、評価を人の営為とみなし、その「人の営為」を社会との関わり合いから考えることの重要性を考究した草分けの一人として、筆者がもっとも畏敬し学んできた科学者がHerbert Simonである。ノーベル経済科学（Economic Sciences）賞とともに、人工知能、AIの先駆的業績から計算機科学のノーベル賞と言われるチューリング賞も受賞している。まさに知の巨人と呼ぶに相応しい。

人の営みや行動を対象とする、いわゆる社会科学は、客観性と再現性に難点があり科学ではない、とワインバーグはみなしていた。サイモンらは、その点での厳密性はなくとも、人の性向や考え方の傾向などにはある程度の共通性があり、社会についても同様な共通的要素がありうることに着目して人の営為を科学することは可能かつ有意義だと考える。

サイモンの思索は著書「The Sciences of the Artificial」に集約されている。1996年の第３版は、認知科学など、1969年の初版以降の学術的論考を補充し再編集されている。驚くのは、その知的作業の30年以上におよぶ一貫性と、複雑系科学などの新たな視点からの革新性である。

呼吸する空気がそうであるように、我々を取り巻く世界はおよそ何らかの意味で我々自身の行い、すなわち人工的要素を含んでいる、との立場から、人の行動や生産物について、その周囲の環境との関連性を通じて捉える科学を、the Artificialの科学と敢えて定義し、自然科学にも、いわゆる社会科学にも属さない、しかも通常の工学とも異質の学問領域の体系化を目指した。

その目指したところを一言でまとめる能力を筆者は持ち合わせていないが、「現実は理論通りにはならない世界や環境条件での人の営為の在り方」を追究し、その環境との関わり合いから人の営みや行為を進化させる方法論を創成しようとした、と勝手に解釈している。

原子力安全と関連づければ、「原子力の設計・利用・評価」という人の行為自体を、周囲の環境との関係性を通じて常に進化させる方法があり得る、あるいは進化させるべきとの考えではないか、と感じている。

５．高レベル廃棄物の問題

原子炉事故や低線量リスクと同じように、「どのくらい安全であれば、安全か？」の議論を避けて通れない課題に、高レベル廃棄物の最終処分問題がある。

原子炉での核分裂生成物を主成分とする高レベル放射性物質は、原子力安全問題のそもそもの原因物質であり、その最終処分法に関する社会的理解を得るとなると容易ではないことは容易に想像がつく。

サイモン流の科学的アプローチこそが必要ではないか、と、長年この問題にかかわってきた者として感じていたところ、最近、ようやく、その成果とおもわれる状況が生まれつつあるような印象を受けている。

米国ニューメキシコ州の南部に位置する処分場のWIPP（Waste Isolation Pilot Plant）と2020年代前半の操業開始が期待されているフィンランドの処分計画である。

WIPPの場合は、少量ながらプルトニウムなどの超ウラン元素を含む軍事用のTRU廃棄物が対象で高レベル廃棄物処分ではない。しかし、不確かさを伴う長期的安全評価を必要とする点では、フィンランドのような高レベル廃棄物を対象としている場合と変わらない。

いずれの例でも、「どのくらい安全であれば、安全か？」に直截的に答えを出しているわけではない。主として地元民との長い密なコミュニケーション過程を通じて、社会的に理解してもらえる状況に辿り着いた、というべきであろう。

ここでのコミュニケーション過程では、安全性に係る情報の提供というよりは、その安全性評価に本来的に付随している不確かさ、あるいは曖昧さを減少させる具体的方法の提示と改善への姿勢が社会的に認知されたからではないかと、感じている。

この具体策の提示や改善こそがサイモン的科学にもとづくアプローチの肝の部分だと思う。何故ならば、周囲の環境との関わり合いを通じて、安全の確保という人の営為が実質的に向上し進化しているからである。

5.1　WIPPの事例

WIPPの場合であれば、埋設する廃棄物について軍事用施設からの発生物に限定され、廃棄物特性に係る長期的リスクの不確かさができるだけ抑えられているとともに、長期的安全性の確認は段階的に行いその確認の結果として次の段階に移るという貯蔵的概念が部分的に組み込まれている。

さらに、地元州政府は、州民の不安や意見を汲み取る場として、実施主体である国（DOE）とは独立に、専門家からなるグループを組織し、同グループは論争の種であった塩水汚染の科学的非蓋然性を説得的に議論するなど、大きな役割を果たした。

WIPPでは、1999年の操業開始以来、2014年に車両火災と被ばく事故を連続して起こし操業を中断せざるを得ない事態に陥ったが、2017年春には再開の許可を得ている。長年のコミュニケーション過程により地元民との信頼関係が保たれているからだと推察させる。

5.2　フィンランドの事例

フィンランドの例においては、パイロット試験施設でサイト調査を行い地質特性に係る適性を事前にできるだけ明確化するとともに、耐食性に優れる銅製のオーバーパックによって埋設廃棄物を二重に封入することにより長期的安全性に係る不確かをできるだけ軽減する具体策が講じられている。

フィンランドで特徴的な点は、処分事業に地元民が従事し参加することが条件のひとつになっているところと、埋設廃棄物について、既設炉からの発生分に限っているところである。処分事業への地元民の参加は、雇用の長期確保の点から地元がとくに重要視した。既存炉分に限定している点は、それによって、建設中炉や新設炉からの発生分に係る不確かさが除去されているとともに、将来の事業展開に関する裁量の余地が地元にも与えられており、「迷惑施設の押し付け」観が大幅に排除されている。

なお、フィンランドの処分計画が国際的にもっとも進んでいる状況について、学術誌Natureが2015年12月２日号で解説している。

5.3　コミュニケーションの意義

これらの例は、ワインバーグの問い「どのくらい安全であれば、安全か？」について、その答え自体よりも、そこでの議論のプロセスの重要性、とくに、その果実として、安全評価に係る不確かさが減少し、確かさが増すという実質的な効果を産む可能性を示唆している。

言うまでもなく、原子力安全では情報公開が不可欠である。その意味もこのプロセスの重要性と大いに関係がある。しかし、情報公

開すればこのワインバーグの問いに関する議論の進展が可能だったかといえば、そうとも思われない。

情報公開とともに、あるいはそれ以上に重要な点は、その議論のプロセスへの参加者と参加の仕方である。

ふたつの事例とも、その主な参加者は実施主体と地元という当事者である。社会的責任を担っている当事者間のコミュニケーションにその議論の帰趨が委ねられている点にポイントがあるように思う。すなわち、当事者らはその議論からどんな結論を導くかに関して、いわば、その権限を社会から負託されているのである。

サイモンの科学からすれば、処分に係る科学技術を設計・運転するという実施主体の営為は地元との関わり合いを通じて進化させることが課題であり、当事者同士は処分プログラムを設計・評価するという営為（ここでは、地元民も実施者）は社会との関わり合いを通じて進化させることを問われているのである。

６．TMI事故以降の米国

6.1　責任所在の明確化

原子力安全についてみると、TMI（Three Mile Island）原子力発電所の事故後の米国にこのサイモン流の取組みをみることができる。米国では、TMI事故後しばらくは、もっぱら規制強化による安全確保策が講じられたが、肝腎の（安全な）発電による運転実績が一向に上がらなかった。このため、徐々にではあるが、事業者主体の安全確保を優先する方針に変えられて行った。

すなわち、原子力安全の第一義的責任は事業者にあることが制度的にも徹底され、原子力規制委員会はその制度の有効性を監視・確認する役割を担うことになっている。

こうすることにより事故の責任は事業者にあることが社会的にいっそう明らかになり、事業者は、事故直後に設置されたINPO（Institute of Nuclear Power Operations）と称する事業者共同出資の新組織について、事業者自らを監視する自主的規制機関と、改めて明確に位置付けた。

6.2　非公開の自主的規制

INPOが特徴的なのは、それが公的機関ではなく私的組織である点である。私的組織であるから情報は公開されないのが原則である。外部との共有を目的に公開されると、その分、組織の責任があいまいになる可能性があるからである。

INPOは非公開故にその実効性が問われており、実際、原子力発電所の安全運転実績を個別に格付けしその結果が原子力災害保険料の算定に反映されるなど、米国の原子力安全の維持向上に有形な実質的役目を果たしている。

このINPOの非公開性は、Ralph Naderらの社会活動家から批判され訴訟になったが、約10年間の係争を経て、最高裁は、事業者責任の原則から妥当との判決を下している。

この背景には、知的所有権や個人情報など、公開情報には何らかの制約がつかざるを得ない、という認識と、他方で、内部の生の情報に基づかなければ真の安全問題は議論しえないとの認識とがある。

TMI以降における米国の原子力安全確保の変遷については、Joseph Reesの「Hostages of Each Other－The Transformation of Nuclear Safety Since TMI」に詳しい。事業者間、あるいは事業者と規制機関とが互いに牽制し合い、まるで人質化しているかの如き状況からの改革、それがTMIから米国が学んだ教訓だという。

INPOという非公開の組織による自主規制、それによって事業者自身の安全の維持強化を自主的に監視・確認するという方法は、社会的責任の遂行という社会との関わり合いから創成された新たな制度であり、一種のサイモン流の知恵だと思う。

７．情報の非対称性

米国と違って、日本には、原子力安全のお墨付きを国が与えるとの社会的思考が根強くある。この日本的特殊事情もまた考慮されな

ければ、原子力安全のサイモン的進化は難しい。

福島第一事故の国会事故調は、事故原因を規制の虜と断じた。規制側が事業者側に取り込まれ事業者に都合がいいように規制されていた、との指摘である。この背景には、「国のお墨付き」思考が潜んでいるように感じている。

しかし、「規制の虜」もまた原子力に限ったことではない。サイモンと同じように、人の行動と経済活動の関係を分析してノーベル経済科学賞を受賞したJoseph Stiglitzらが70年代から唱えた概念と言われている。

「規制の虜のない活動、すなわち規制者と被規制者間での情報の追加的遣り取りがない活動は、もともと規制を必要としない活動か、徹底した規制強化で活動停止になるかのいずれかである。」

仏の行動経済科学者、Jean Tirolが1991年の論文などでこのことをゲーム理論により論証していたことを知ったのは彼が2014年にノーベル経済科学賞を顕彰されてからだった。

「規制の虜」の本質は、規制者と被規制者の間では、元来、関連する情報に偏りがあるという、いわゆる情報の非対称性に由来する。

偏りがなければ、規制の虜は発生し得ずおそらく規制も不必要なほどに単純な事業であろう。他方、偏りが大きいにも拘わらず限られた情報の下で規制するとなると、知らなかったことの結果責任を問われないように規制強化にならざるを得なくなる。TMI事故以降しばらくの間、米国が直面した状況とも解釈できる。

情報の非対称性理論では、非対称性を解消するよりも、それを前提に行動し制度設計することに重きを置く。非対称性とは、本来的に解消し難いものだからである。

米国の先例に学ぶとすれば、事業者責任による自主的規制を奨励するとともに、規制機関はその自主的規制の有効性を監視・確認するという役割分担が明確化される制度を導入した。

リーズは、著書の中で、そのことを共同体的規制（Communitarian Regulation）と呼んだ。規制の虜との違いは、当事者の真のプロ意識・知識とそれぞれの組織の責任感にあるとしている。

8．まとめ

規制機関のイニシアティブの下、米国流規制への移行が日本でも図られつつある。INPO的役割を担う機関として、事故前の原子力技術協会が原子力安全推進協会に改組されるとともに、電力中央研究所内に原子力リスク研究センターが新設されている。これらの新たな体制が原子力安全の実体的向上に確実に繋がることを切望している。

規制機関は米国型の仕組みを参考にしつつ、米国にはない、国のお墨付き思考にも応えなければならない任も負っている。

言うまでもなく簡単ではないが、事故の教訓を生かすために克服しなければならない課題のように思う。事業者および規制機関の不撓不屈、創造的忍耐に期待したい。

かつて、少なくとも一時期、原子力は科学技術を牽引した。その科学技術とは、主としてワインバーグのいう「科学」の領域であった。将来の原子力は、ワインバーグの「超科学」を科学化したサイモン的科学により科学技術を先導することはできないかと、秘かに願っている。

著者プロフィール

長年、東京大学において、核燃料サイクルについての研究教育に従事。資源のリサイクルや放射性廃棄物の環境影響など、エネルギー・環境問題として原子力の研究に取組み、各種エネルギー選択肢の長期的評価を行うエネルギーモデルの作成や分析を行う。また、プルトニウム利用や高レベル廃棄物処分に係る安全性、核不拡散性など、社会と技術にまたがる領域の探究に取組む。退官後は、原子力安全委員会委員長、日本原子力研究開発機構理事長、環太平洋原子力協会会長などを歴任。

放射線事故後の迅速評価における緊急時線量測定技術の最新動向

～第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップにおけるパネルディスカッション～

ステファン・マッキーバー*

医療施設、産業施設およびエネルギー発生施設における放射線の利用の拡大により、小規模または大規模な事故あるいは放射線源が関与する事象に対処するための必要な方法について懸念が生じている。そのような事象には、少数が影響を受ける、おそらく放射線源や放射線発生装置の偶発的な取り扱いミスが関与している事故や何千人もの人々が影響を受ける原子力発電所［NPP］の事故やテロ事件のような大規模な事故が含まれる。後者には、技術的にRadiological Dispersive Device（RDD：放射線分散装置）として知られているいわゆる「ダーティー・ボム（汚い爆弾）」あるいはシールドされていない放射線源Radiological Exposure Device（RED：放射線照射装置）を用いた人への意図的な照射が含まれる。まことに残念なことではあるが、テロリストが簡易核兵器を使用する可能性も含める必要がある。

事故あるいは他の事象により、従来の個人線量計を装着していない人でも被ばくする可能性がある。一般人が被ばくするような大規模な事象では、ほとんどの人がそのような機器を装着しておらず、個々に線量計を装着していなかった場合、各人への被ばくをどのように判断するのかという疑問が生じる。

最近では、従来とは異なるモードで線量計を使用するための多くの試みがなされている。これらの試みには、人体それ自体を線量計として使用することが含まれており、例えばさまざまな生物的線量測定や生物由来材料を用いた物理的線量測定の手法が考案されている。他の試みでは、各人が装着しているまたは身体の近くにあることが期待される非生物学的物質に基づいた物理的測定法の使用に焦点をあてている。これらの手法は**図１**に要約している。この図は、「緊急線量」、すなわち放射線トラブル中に各人へ付与される線量を決定するために提案された種々の方法を示している。この手法は２つのカテゴリに分類される：(1)生物的線量測定：特定の生物的マーカーを被ばくの指標として測定する。マーカー強度は、被ばく線量に比例する：および（2)物理的線量測定：電子常磁性共鳴（EPR）またはルミネセンス（熱ルミネセンス［TL］または光刺激ルミネセンス［OSL］）などの方法が、生物由来物質（歯、爪）あるいは非生物物質および身体外部ではあるが身体近くに装着している物質（「fortuitous［偶然］線量計と呼ばれる」に用いられている。

過去数年間で、これらの種々な方法が用いられるようになり、多くの研究が実施され、異なる方法が異なる速度で進歩し、それらの開発段階はさまざまである。

＊ Stephen W.S. McKeever　オクラホマ州立大学物理学部　終身栄誉教授

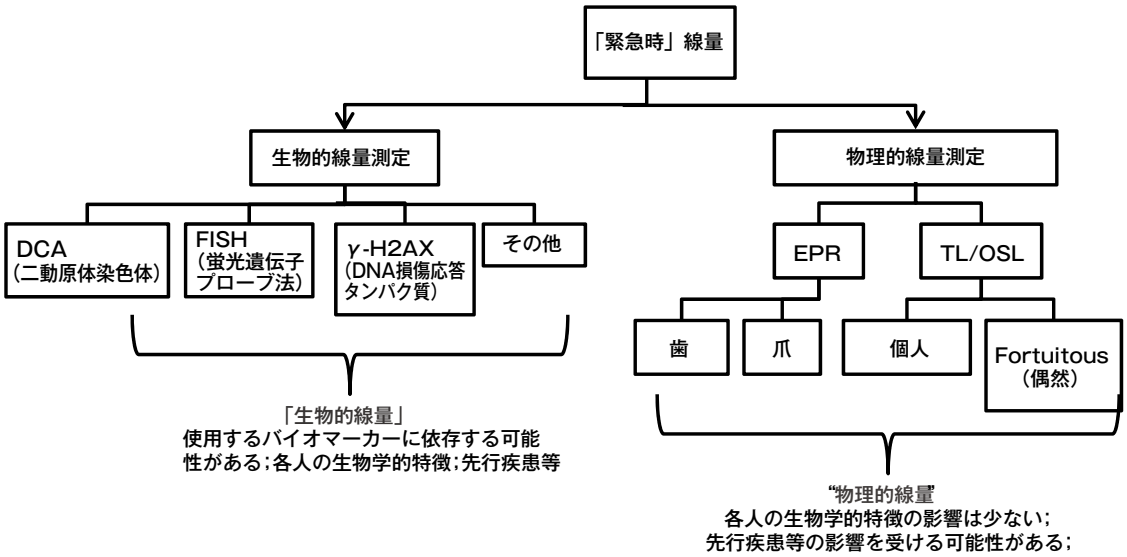


図１　被ばく事象後の個人が被ばくした「緊急時線量」の決定法

第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ（大洗、2017年12月）では、各領域の最先端の状況について述べ、最終的な導入に関連する現在の障害や問題について議論するために、パネルディスカッションが開催された。パネルは、筆者が議長と司会を務め、次の４人の国際的な専門家がパネルメンバーであった: Paola Fattibene博士（the Istituto Superiore di Sanità、イタリア）、Ruth Wilkins博士（Health Canada、カナダ）、Clemens Woda博士（Helmholtz Zentrum Muenchen、ドイツ）および François Trompier博士（Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire、フランス）。Fattibene博士、Wilkins博士およびWoda博士は、大規模な事象に的をしぼって意見を述べ、一方、Trompier博士は、自分自身が経験した患者数が少数の小規模事故に焦点をあてた。議長および著名なパネリスト達は、ICRU（国際放射線単位測定委員会）の報告委員会（RC-29）の現メンバーでもあり、他の研究者とともに、放射線事故中の大規模被ばくのための上記に述べた遡及的な（retrospective）方法についての現時点での状況を精査している。RC-29は、筆者とWoda博士が共同議長を務めている。

パネルメンバーには、現在、特定の研究領域が直面している主要問題および直ちに取り組む必要がある問題の対処について述べる責任を課せられた。さらに、パネルメンバーは、このタイプの線量測定の長期的問題および将来的に必要とされる興味をひく研究領域についての推測を求められた。各パネルメンバーは、自分自身の研究領域の現状についての一般的な見解を聴衆に理解してもらうために、対象領域の招待論文についても言及するように求められた。パネルディスカッションでは、これらの詳細な発表が行われた。

パネルディスカッションは、Wilkins博士による大量死傷者発生事象における生物的線量測定の主要な問題についての説明から始まった:(a)**サンプル採取から線量推定までの時間**: 血液サンプルは、患者から採血後、検査室に送る必要がある。さらに、細胞遺伝学的方法を用いた線量の推定には、サンプル処理のため３日間を要し、最初の線量推定値を得るにはサンプル採取後４～５日間を必要とする。

Ruth Wilkins博士

(b)**処理能力**：上記のことを考慮すると、検査室はすぐに何千ものサンプルで埋め尽くされる。(c)**混乱状態**：大量死傷者発生事象後の回避できない混乱により、サンプル採取、輸送および追跡が困難となる。

このような障害を克服するためには、国内外で要件を満たした検査室のネットワークを確立し、維持することが不可欠である。

さらに、自動化の発展によって処理時間は著しく短縮することができ、この領域では一定の成果が上がっている。また、訓練された緊急対応要員による血液サンプルの採取、輸送および追跡を確立するためには、実施にあたっての詳細な構想が必要である。

長期的問題には、緊急事態のため行動する必要がない場合における、ネットワーク内の検査室の機能性および収容能力の長期的維持が含まれる。これを確実に実施するためには、相互比較および研究を維持する必要がある。また、自動化、特にイメージングの改善は、将来起こりうる緊急時の効率的な使用のために必要であり、その研究および開発（R&D）は不可欠である。例えば、ゲノミクス、プロテオミクスおよびメタボロミクスなど有望な将来性のある技術のR&Dも同様に不可欠である。バイオ線量計の特徴の１つとして、関心のあるバイオマーカーが、吸収された放射線量以外の因子（個人の健康状態、環境毒素および経時的なマーカーの不安定性等）によって影響を受ける可能性があることが挙げられる。これらすべての問題に取り組み、克服する必要がある。

Paola Fattibene博士は、事故後のEPR線量測定の使用について考察した。EPR測定は、生物由来物質（例：歯）または非生物学的物質（例：スマートフォンのガラス）に用いることができる。この方法は、迅速な高速検出、個々の線量評価、事故後の安心および長期的疫学等、被ばく後の様々な段階で役立つ。しかし主要な問題が全段階をとおして存在する：(a)長期にわたるサンプル準備に対応できる**処理能力の不足**：(b)分析中にサンプル（例：歯、スマートフォンのガラス）を破壊する測定法の**破壊的な性質**：および（c)実際の生活の場面で見られる**交絡シグナル**（例：太陽光暴露、食事、その他の影響)。

検査室間の相互比較のために方法の継続的な調和が必要な歯の*in-vitro*分析におけるEPR使用には改善が必要である。*In-vitro*分析には、望ましくない侵襲的処置である抜歯が必要である。それゆえ、適切なRF周波数（例：通常使用されているX帯域の代わりにQ帯域）を用いて、生検用に抽出された少量のサンプルを使用する研究が進められている。スマート

Paola Fattibene博士

フォンのタッチスクリーンガラスは、実際には被ばくしていないが、被ばくを疑う個々の人（いわゆる「心配性」）に安心感を提供できる可能性がある。ここで生じる困難な問題は、交絡シグナルおよび素性が異なるガラスから得られる広範なタイプのEPRシグナルによって起こる。普通一般の物質も、安心感を与える目的での使用を検討する必要がある。生物的線量測定と同様に、EPR検査室の能力もネットワーキングを介して国内および国際レベルで改善されるべきであり、検査室間比較や標準化も必要である。これは、実際に即したシナリオを用いた標準検査において達成されなければならない。

この分野における新たな課題には、*in-vivo* EPR測定および*in-vivo*分析のための小さなサンプル生検の開発が含まれる。*In-vivo*線量測定は、この測定方法では明らかに解決不可能な個々のキャリブレーションの問題を露呈させる。そのような場合には、標準化されたユニバーサルなキャリブレーション曲線が必要となる。これらの目標を達成するためには、検査室間の相互比較と共に、新しい共振器の継続的な開発が必要である。

Woda博士は、非生物学的物質においてルミネセンス線量測定技術が直面している問題について考察した。最近のこの領域における研究は、限定的ではないが主にスマートフォン（表面実装部品、集積回路、ガラス等）などの個人的な電子デバイスの電子部品に焦点があてられている。技法は、迅速で感度が高くかつ容易である可能性がある（すなわち単純な機器）。しかし同じ物質を異なる実験室でテストし、ルミネセンス発光の物理的機構に対する理解を深め、実験室間比較をとおして手順基準に到達させることによって、発展させていく必要がある。さらにこのタイプの線量測定は、スマートフォンに到達した物理

Clemens Woda博士

的線量のみを示し、人が被ばくした線量を示すものではない。決定された線量を人体（例えば、全身、身体の一部、重要臓器に対する線量等）への線量に変換させる方法を確立する必要がある。これらは、次に示唆される実験およびコンピュータシミュレーションを必要とする。そのようなプロセスのすべてに、知っておくそして理解しておく必要があるエラーおよび不確かさを導入する。

長期的課題には、「究極の」ルミネセンス線量測定物質の探索が含まれる。この仮説的な物質は、高感度、安定な要素および不安的な要素を示し、サンプル採取に際しては破壊のないアプローチがとられる。残念なことに、パーソナル電子デバイスを用いる現方法は、デバイスの破壊を必要とする。携帯型の安価な機器の開発ともに、専門家でなくともすぐに使用法を覚えることができる、新しいルミネセンス測定法（例えば、パルスOSL、ラジオフォトルミネセンス（RPL）など）を検討するべきである。理想的には、デバイス自体を統合した目的に合わせて設計し、線量計を開発することも考えられるが、これはデバイス製造業者との協業が必要なアプローチである。

最後にTrompier博士が、犠牲者は少数であるが、特に高線量を伴う小規模事故におけ

る問題と課題について考察した。例えば手への局所的照射の場合、骨や指の爪のEPRは、医療関係者の要求に対して部分的に対応することができる可能性がある。照射ジオメトリーは複雑であり、特に放射線源処理のためのシミュレーションアプローチは、強い線量勾配と高い不均質性のため、非常に困難である。それゆえ、EPRを用いた*ex-vivo*骨分析は、通常、切断後に実施される。同様に、指の先端に位置する爪のEPR測定は有益であるが、手の残りの部分の線量についての情報は提供できない。以下の目的のため、詳細な線量マッピングを提供することができる新しいアプローチの開発が必要である：(a)皮膚組織の*in-vivo*分析に基づいた線量または組織の炎症分布の推定：(b)骨組織の*in-vivo*分析に基づいた線量または組織の炎症分布の推定：(c)新しいイメージング技術の実施。

このような状況下での線量測定の目標は、被ばくした個々の患者の正しい治療法を医療関係者に知らせることであり、このアプローチの今後の課題は、次の的を射た質問と関連する：線量は、被ばく後の組織損傷とその展開を必ず反映し、予測しているか？

その他の関連質問には、線量分割、照射のLET（線エネルギー付与）、線量率、被ばくに対する個々の感受性または照射された組織体積が、どのように医学的転帰に影響をおよぼすかということが含まれていた。すべてのケースにおいて、線量は、組織損傷とその展開を推定するための代用物（「仲介役」）であることを心に留めておく必要がある。それでは、照射後の組織損傷とその展開を評価するために、線量をどのように用いることができるのだろうか？軟組織と硬組織で比較した線量の影響および血液循環、酸素化、中枢神経系などへの線量の影響のすべて検査する必要がある。これらを支援するためには、*in-vivo*

Francois Trompier博士

磁気共鳴、ラマン分光法などの技術を採用し、開発することが必要である。

パネルによるこれらの問題の議論後、パネリストと聴衆の間で活発で興味深いQ&Aセッションが続いた：

- この背景下での「線量」とは何を意味するのか？言い換えれば、我々はどの「線量」を測定しているのか？吸収線量、実効線量、等価線量、線量当量、RBE修正線量のことなのか？そして時に生物的線量とよばれるのか？等。
- フェーディングしないルミネセンス物質を発見することは可能か？これらの用途のために使用可能な「究極の」ルミネセンス線量測定物質は存在するのか？
- 評価される線量の用い方とはどのようなことか？トリアージのためだけか？医学的フォローアップ等か？

著者プロフィール

1975年、ウェールズ大学（英国）より博士号取得。バーミンガム大学、サセックス大学（共に英国）博士研究員、オクラホマ州立大学（米国）助手、助教授、教授。前オクラホマ州・科学技術局長。現在、オクラホマ州立大学物理学部終身栄誉教授。OSL（光刺激ルミネッセンス）線量計やTLD（熱ルミネッセンス線量計）の権威。

「第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ（The 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring：IWIRM13）」が開催されました！

2017年12月２日(土)、３日(日)の２日間に亘り、『第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ（The 13th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring：IWIRM13）』が茨城県大洗町の㈱千代田テクノル テクノルコンベンションセンター－Hosoda Hall－ で開催されました。

IWIRM13には、ヨーロッパ州から13ヶ国（イギリス、イタリア、ウクライナ、オーストリア、オランダ、クロアチア、スイス、スペイン、ドイツ、フランス、ベルギー、ポーランド、ポルトガル)、アジア州から６ヶ国（インドネシア、カザフスタン、韓国、中国、日本、フィリピン)、アメリカ州から３ヶ国（アメリカ、カナダ、ブラジル)、アフリカ州から１ヶ国（南アフリカ)、オセアニアから１ヶ国（オーストラリア)、と世界地理区分の５大州全ての地域から24ヶ国52機関（海外29機関)、合計205名が参加されました。

IWIRM13の開催直前に、これまでワークショップの開催において長年に亘り多大な貢献をされてきたKortov Vesvolod博士（Ural Federal University, ロシア）の訃報が届きました。固体線量計に関する研究の第一人者をまた一人失うことを残念に思うと共に、これまでの感謝の気持ちとあわせて心よりご冥福をお祈り申し上げます。

ワークショップ開催当日はお天気にも恵まれ、快晴の中でのスタートとなりました。恒例となった開会式前の記念写真撮影は、太陽の光がHosoda Hallの屋根に反射して輝かしい光を放ち、これから始まるワークショップが素晴らしい会になることを期待させてくれました。参加者の皆さんにとっても、思い出に残るスタートとなったのではないでしょうか。

第13回国際ワークショップの参加者の皆さん（Hosoda Hall前にて）

本ワークショップの開会式では、開催にあたり全面的なご協力をいただいている大洗町より町長の小谷隆亮様からご挨拶を賜りました。

開会の挨拶を述べる小谷町長（左）と
ワークショップの山本組織委員長（右）

本ワークショップでは、２日間で31件の口頭発表と54件のポスター発表が行われました。また、パネルディスカッションとして『Latest Developments in Emergency Dosimetry Techniques for the Rapid Assessment of Dose following Large-Scale Radiological Incidents』をテーマに緊急時の放射線被ばくにおける線量評価手法が議論されました。

パネルディスカッションでの様子

パネルディスカッションでは、前回同様Stephen W.S.McKeever博士（Oklahoma State University, 米国）がコーディネータを務められ、物理、生物、化学的手法を用いた緊急時被ばく線量測定の専門家であるパネリスト達と、現在直面している課題や今後の展望に関する議論が行われました。（本誌P６～10をご参照ください）今回のパネリストは初参加の３名を含む、Ruth Wilkins博士（Health Canada, カナダ）、Francois Trompier博士（Institut de Radio-protection et de Sûreté Nucléaire Service de Recherche en Dosimétrie:IRSN, フランス）、Clemens Woda博士（Helmholtz Zentrum München,ドイツ）、Paola Fattibene博士（Istituto Superiore di Sanità, イタリア）の４名です。各パネリストからそれぞれの研究分野の最新の話題が提供され、会場の専門家たちと熱い議論が交わされました。放射線事故は放射線業務従事者だけでなく、地域住民など線量計を日常的に身につけていない人々にも被ばくによる影響を与えかねません。そのような事態が発生した場合備え、これまで以上に高い精度で線量評価するための既存手法の改良や新たな手法の開発が行われています。パネルディスカッションでは、一例として携帯電話の構成部品を利用した緊急時被ばくの線量評価手法に関する研究内容が紹介されました。

ポスター発表は大学院生など若手研究者らを中心に、放射線研究をリードする国内外の専門家の先生方までが、自身の研究成果をまとめポスター発表会場に掲示し、また、参加者を前にした壇上で研究紹介を英語で２分間行いました。

検出器の基盤的研究開発から、医療分野における新たな放射線計測手法に関する研究、福島第一原子力発電所事故から６年が経過した福島の環境測定の結果の報告など放射線モニタリングに関して多岐に亘る分野の研究報告が行われました。

全てのポスター発表の中から、Best Poster賞、Excellent Poster賞、Best Oral Presentation賞が選定され、ワークショップ終了後の懇親会で、次の５名の受賞者が表彰されました。

BEST POSTER賞

『Cell competition in thyroid gland and radiation effects』

Amrenova Aidanaさん（長崎大学大学院）

EXCELLENT POSTER賞

『Personalized Internal Radiation Dose Estimation using D-shuttle in Nuclear Medicine』

Md. Shahidul Islamさん（東北大学大学院）

『Evaluation of fast neutron spectra in a compact medical cyclotron』

大島拓洋さん（名古屋大学大学院）

『RPL based on Intra-valence Changes of Eu Ion（Eu^{3+}→Eu^{2+}）in Ca_2SiO_4』

浅田将太さん（奈良先端科学技術大学院大学）

ポスター発表授賞式

懇親会の余興後の記念写真
（海外参加者と大洗荒磯太鼓保存会の皆さん）

BEST ORAL PRESENTATION賞

『Study of metastable states for impurity-containing co-doped KCl ceramics』

野田沙矢佳さん（東北大学大学院）

また、2019年に広島で開催される『19th International Conference on Solid State Dosimetry (SSD19)』の組織委員長である保田浩志 広島大学教授よりSSD19の開催案内が行われました。

SSD19に関する案内

IWIRM13は、海外からの初参加者も多く、口頭発表数も昨年から６件増加して非常に充実した発表内容となりました。発表の内容が充実するだけでなく、ワークショップを通じて放射線モニタリングに関わる研究者間のネットワークがさらに広がった会になったのではないでしょうか。

開催を重ねる毎に発表件数が増加し、２日間では時間が足りないほどの充実した質の高いワークショップになっています。次回以降も、質の高いワークショップの運営に貢献できるよう、運営の事務局を担う㈱千代田テクノルの関係者一同、努力してまいります。

表面汚染サーベイメータのJCSS取得に向けて

大洗研究所　放射線標準課

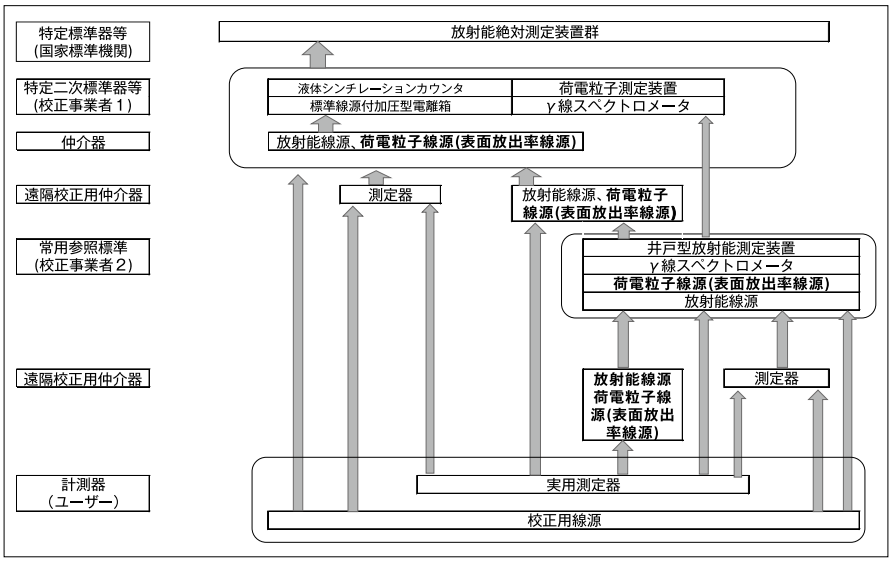
１．はじめに

2011年３月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故以来、空間線量率シンチレーションサーベイメータとともに表面汚染サーベイメータの校正依頼が増加傾向となりました。その要因としては、放射性物質に関係した仕事をされている方はもとより、今まで表面汚染サーベイメータを触ったことがない方まで、多くの方々に使用される機会が増えた事により、関心と需要が高まったためと考えられます。ちょうどその頃、独立行政法人製品評価技術基盤機構（NITE）で表面汚染サーベイメータのJCSS化に向けたワーキンググループが立ち上がり、検討が始まりました。また最近では、発電業界でトレーサビリティの提示が求められるようになって来たことや、国際原子力機関（IAEA）の総合原子力規制評価サービス（IRRS）の報告に、測定機器のトレーサビリティが欠如していることが指摘されるなどの動きがありました。これらの社会的ニーズに対応するため、弊社大洗研究所では表面汚染サーベイメータのJCSS登録を目指すこととなりました。

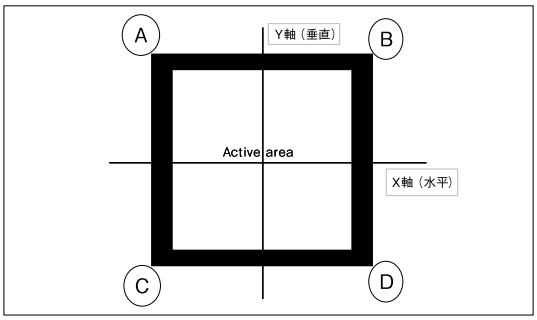
２．進行状況

2017年１月11日に、JCSS技術的要求事項適用指針「登録に係る区分：放射線・放射能・中性子校正手法の区分（呼称）：α／β線核種、γ(X)線核種（特定二次標準器等による校正）」JCT21731（第３版）が改定・発行されました。この中に荷電粒子線源（表面放出率線源）が新たにトレーサビリティ体系に追加されたことにより、表面汚染サーベイメータのJCSS校正の実施が可能となりました。（**図Ａ**トレーサビリティ体系図を参照）

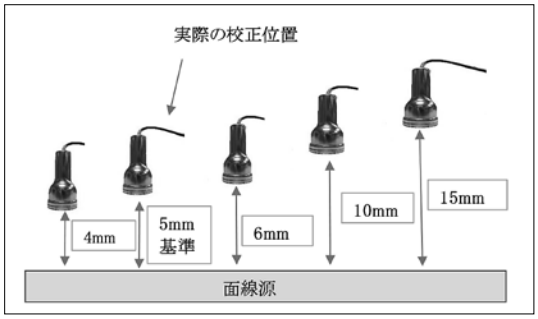
弊社大洗研究所は初回の登録申請として、一般校正で依頼台数の多い、有効径５㎝のGMサーベイメータ（入射窓面積19.6㎠）の



図Ａ　トレーサビリティ体系図(JCT21731-03 6. 測定とトレーサビリティと校正を引用)
注）今回の改定により追加された箇所を太字にしております。



図B　表面放出率の均一性試験（Active area 10×10㎝）



図C　検出器の位置設定

表A　評価された校正における不確かさ要因

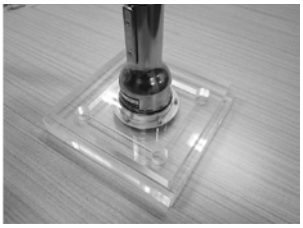
校正における不確かさの要因	相対標準不確かさ(%)
面線源の校正値	約1.0%
表面放出率の均一性	約1.0%
検出器の位置設定	約1.0%
検出器の角度設定	0%
不感時間の補正	約1.0%
検出器の指示値の読取	約0.7%
被校正機器の安定性	約1.2%
その他	約2.0%

^{36}Clβ面線源による表面汚染サーベイメータの校正に絞り、手順書（マニュアル）の改定を含めた整備、及び不確かさ算出手順書の新規作成を行いました。また、不確かさ算出のため、面線源の表面放出率の均一性試験（**図B**）、検出器の位置設定（**図C**）に起因する不確かさ等を評価する測定試験を実施しました。（**表A** 評価された校正における不確かさ要因を参照）

今後はISO／IEC17025への適合性の確認のための技能試験（NITE様との調整中）を実施し、できる限り早くにサービスが開始できる様に取り組んでいます。

3．専用校正治具の開発

表面汚染サーベイメータの校正は、JIS等の規格では検出器表面から面線源の表面までの距離が5㎜程度と指定されています。このため、検出器を面線源の5㎜上に固定しますが、検出器には様々な形状があるため、これを固定し、かつ面線源に対して平行に設置するのは容易ではありません。そこで、誰でも正確に上述の設置を可能にしたのが**図E**に示す治具です。治具の自己遮蔽効果を最小限に抑え、検出器が面線源から5㎜の中空に浮いた状態とほぼ同じ測定値になるように検出器を置く部分については熟慮が重ねられた形状となっています。この治具を使用する事により、誰でも簡単で、かつ正確な設置の再現が可能となりました。



図E　専用校正治具に検出器をのせたイメージ

4．不確かさの算出（面線源の均一性）

不確かさの大きな要因の一つに面線源の均一性が上げられます。この不確かさを評価するため、実際に使用する面線源を用いて、表のBに示すような20ヶ所以上の異なる位置で測定し、その差を評価しました。このとき、線源の端の部分では入射する荷電粒子の数が幾何学的に減少するため、この分の補正をして最終的な不確かさを算出しています。（**図B**および**表B**参照）

5．校正仕様

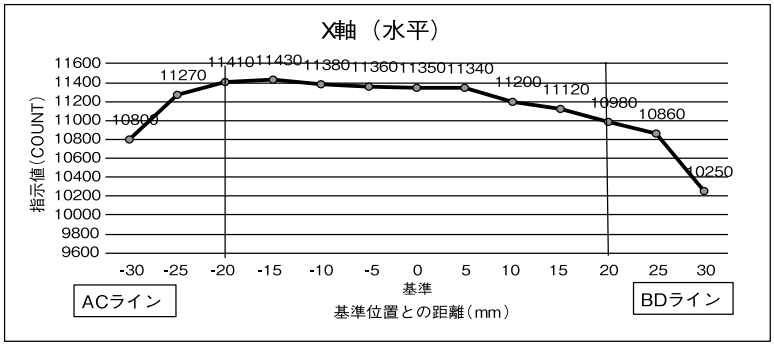
＜校正対象機器＞

有効径5㎝（入射窓面積19.6㎠）のGMサーベイメータ（例：TGS-1146, TGS-146B, TGS-136等）

＜校正核種＞　^{36}Clβ面線源（**図F**参照）

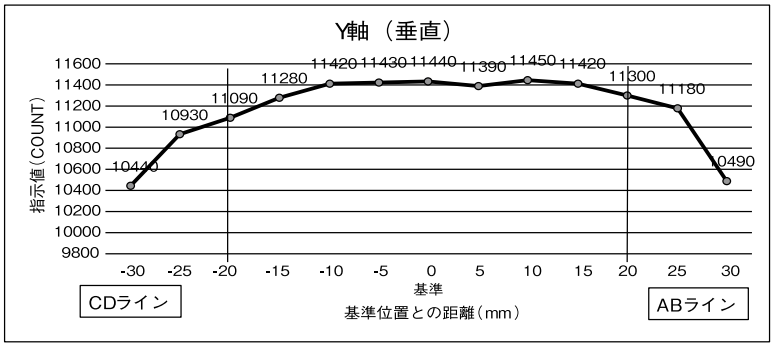
＜校正項目＞　機器効率試験

表B　水平・垂直方向の試験



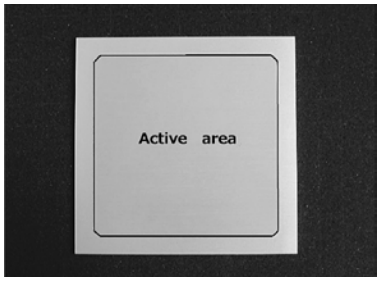
-20～+20までの平均

平均	中心との差
11286	-0.6



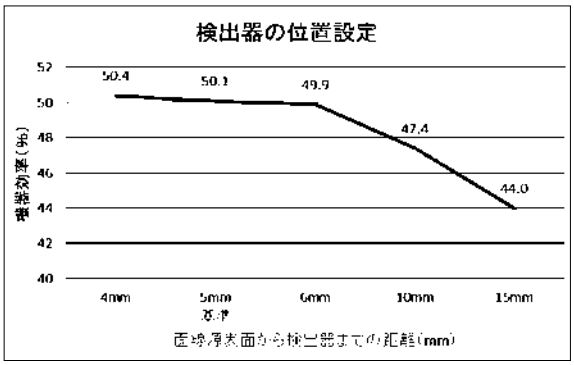
-20～+20までの平均

平均	中心との差
11358	-0.7



図F　^{36}Clβ面線源（10×10㎝）の写真

表C　検出器の位置設定（面線源表面から検出器表面までの距離）校正位置５㎜を基準とし、±１㎜・＋５㎜・+10㎜を確認



6．おわりに

国際原子力機関（IAEA）の総合原子力規制評価サービス（IRRS）を受けた原子力規制委員会の今後の動向が気になる所ですが、現実的に委員会が全てのサーベイメータにJCSS校正を要求してくることはないと予測されます。しかしながら、千代田テクノル全体として、「品質」を最重要と考えており、そのため弊社大洗研究所では、常に社会情勢全体に注意を払い、臨機応変に対応できるようJCSS校正対象のサーベイメータの機種を増やし、今後も校正サービスの拡大や品質向上を進めてまいります。

参照規格

JCT21731-03
　JCSS技術的要求事項適用指針
　登録に係る区分：放射線・放射能・中性子
　校正手法の区分(呼称)：α／β線核種、γ(X)線核種
　(特定二次標準器等による校正)
JIS Z 4329：2004
　放射性表面汚染サーベイメータ
JIS Z 4504：2008
　放射性表面汚染の測定方法－β線放出核種（最大エネルギー0.15MeV以上）及びα線放出核種

Radiation Monitoring Center

ラディエーションモニタリングセンター青森

開　設　紹　介

センター長　福本　善巳

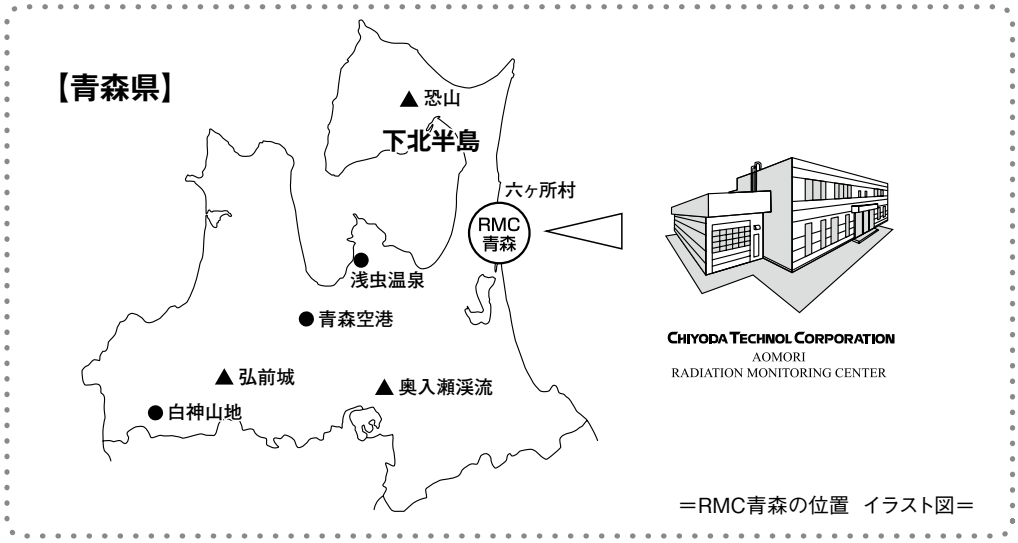
青森県上北郡六ヶ所村に弊社のガラスバッジ測定センター（ラディエーションモニタリングセンター青森：RMC青森）が新たに開設しました。平成30年４月からの稼働開始に向けて、現在準備を進めているところです。

RMC青森　外観

RMC青森では、日本原燃様および関係会社様にご使用いただくガラスバッジの組立・発行から測定・結果報告までの一連の工程を行います。日本原燃様の敷地に近い弥栄平（いやさかだいら）という地区の弊社青森営業所隣接地にRMC青森を建築しました。RMC青森の稼働により、ガラスバッジの短納期での発行と結果報告を可能にし、緊急測定体制を整えました。

RMC青森　玄関口

弊社では、これまで茨城県の大洗町にある大貫台測定センターに測定施設の拠点があり、全国のお客様への対応を行っておりました。今後は新設したRMC青森との２拠点でこれ



＝RMC青森の位置　イラスト図＝

まで以上の測定サービスの充実を図っていきます。

六ヶ所村は、青森県下北半島の付け根に位置し、湖沼や海岸、山に接した自然豊かな場所です。一方、石油備蓄基地、メガソーラー、風力発電施設、原子燃料サイクル施設、核融合研究施設等のエネルギー施設が集約した、まさにエネルギッシュな村です。今年は特に雪が多く、青森県の中では例年に比べて３倍の積雪量となっている地域もあるそうです。

現在、一面雪景色となっている国道の運転に細心の注意をはらいながら、RMC青森の立上げに向けて奮闘中です。RMC青森施設の詳細は別号にて報告させていただきます。

一面の銀世界が広がるRMC青森周辺

第三種放射線取扱主任者講習会

本講習では放射線の基礎的な知識や測定器の取扱い、測定方法を学ぶことができ、修了試験に合格すると国家資格が得られます。

対 象 者	18歳以上の方（特別な知識・経験は不要です）	
講座内容（2日コース）	講　義	放射線及び放射性同位元素の概論(1.5時間)
		放射線の基本的な安全管理に関する課目（2時間）
		放射線の人体に与える影響に関する課目（1.5時間）
		放射線障害防止法令に関する課目(2時間)
	実　習	放射線の量の測定及びその実務に関する課目（3時間）
	修了試験（1時間）	
費　用	受講料80，000円（税抜き、受講される方の食費・旅費・宿泊費は含みません。）	
お申し込み	ホームページ（http://www.rada.or.jp/kenshu/dai3）より申込書式をダウンロードし、必要事項を記入して　〒319-1106　茨城県那珂郡東海村白方白根2-4　一般財団法人放射線利用振興協会事務局「第3種放射線取扱主任者講習受付係」宛に郵送して下さい。	

今後の開催予定	
4月	福島市、高崎市、東海村
5月	郡山市、川崎市、名古屋市、福岡市、東海村
6月	いわき市、さいたま市、広島市、東海村
7月	札幌市、新潟市、神戸市、東海村
講習会の実施日、会場等の詳細については右欄の窓口またはホームページでご確認下さい。	

お問い合せ窓口

一般財団法人放射線利用振興協会
東海事業所　原子力研修部
〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4
TEL：029-229-0846　FAX：029-229-0437
（http://www.rada.or.jp/kenshu/dai3）
E-mail：dai3@rada.or.jp

サービス部門からのお願い

ご使用者の変更連絡はお早めに

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

年度替わりは、他の時期に比べて、ガラスバッジご使用者の変更手続きを多く受付けております。そのため、手続き完了までにお時間をいただく場合がございます。

ガラスバッジご使用者に変更がございましたら、お早めにご連絡くださいますようお願い申し上げます。

なお、ガラスバッジご使用者の変更は、「ガラスバッジWebサービス」からお手続きが可能です。「ガラスバッジWebサービス」の入力操作に関するお問合せは、弊社 線量計測事業本部 TEL 03-3816-5210までお願いいたします。

＊「ご使用者変更連絡票」はこちらまで…

測定センター　フリーダイヤルFAX：**0120－506－984**

編集後記

●今回は、巻頭言として「福島第一事故７周年に思うこと」、技術資料として「放射線事故後の迅速評価における緊急時線量測定技術の最新動向」、「表面汚染サーベイメータのJCSS取得に向けて」、話題として「RMC青森開設紹介」と「第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ（IWIRM13）開催」と幅広い分野から報告されている。

●巻頭言では、「原子炉事故の想定」と「低線量リスクの評価」を対比させながら、ワインバーグ博士の言葉を借りて議論が進められていく。「リスクに対する公衆の過剰な観方が原子力の直面する困難のルーツである。この問題は確かに科学に向けられた設問であるが、科学では答えられない」という考え方はその通りかもしれない。また、サイモン博士の言う、「人の行動や生産物についてはその周囲の環境との関連性を通じて捉える科学が重要である」という考え方も納得ができる。「どれくらい安全であれば、安全か？」という問いかけが何度も出てくる。原子力の原点問題が「東電福島第一原発」にあることは逃れようのない事実であり、この問いかけを忘れてはいけないと感じた。

●技術資料では、まず、下記の話題で報告されている国際会議のパネルディスカッションの内容がまとめられている。設定も面白く、今後の研究開発を先取りした議論がなされたことは素晴らしい。「放射線モニタリング研究開発は大洗から始まる」というキャッチフレーズが生まれるような活動が期待できるような気がした。次に㈱千代田テクノルが行っている「表面汚染サーベイメータのJCSS化」に関しては、JCSS化に向けた国内の流れ、各種試験結果等が紹介されている。各種機種に対してJCSS化が進むことを願う。

●話題では、「RMC青森の開設」と「第13回放射線モニタリングに係る国際ワークショップ」が紹介された。前者は、７年前の東日本大震災のような天災が発生しても、大洗と青森の線量計測サービスセンター稼働により、サービス提供リスクの低減に大きく寄与すると思う。また、後者は、24か国52機関から205名が参加したとのこと。世界的ワークショップとして定着してきた感がある。　（河村　弘）

FBNews No.495

発行日／平成30年３月１日
発行人／山口和彦
編集委員／今井盟　新田浩　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　佐藤大介　髙橋英典　和田卓久
発行所／株式会社千代田テクノル
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／株式会社テクノルサポートシステム

－禁無断転載－　定価400円（本体371円）