



Photo J. Mori

Index

国内外における放射線防護用X線照射場の線質について …黒澤 忠弘	1
国際電気標準会議 原子力専門委員会の報告 ……………柚木 彰	6
FNCA大臣級会議とオーストラリア研究炉の成功物語 ……町 末男	11
眼の水晶体の線量限度変更と動向について……………大口 裕之	12
「第11回テクノル技術情報セミナー」を終えて ー「最近の放射線計測への要求事項とICRP勧告の動向について」ー ……	17
公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ……………	18
〔サービス部門からのお願い〕 測定に無関係なものがまぎれていないかご確認ください！……………	19

国内外における放射線防護用 X線照射場の線質について



黒澤 忠弘*

1. 緒 言

サーベイメータや個人線量計といった放射線防護を目的とした線量計では、測定する放射線のエネルギーに合わせて正確に線量を示す必要がある。光子に対する放射線防護用の線量計の校正には、Cs-137線源が通常用いら

れている。しかし、実際線量計が用いられる施設や環境によって、測定する放射線のエネルギーが異なってくる。現在除染等の問題となっている福島県内においても、主に拡散しているCs-137、134の γ 線以外に、それらが散乱して低いエネルギーとなった成分が見られる^[1]。図1に、その光子スペクトル例を示す。このように除染後の地域では、Csか

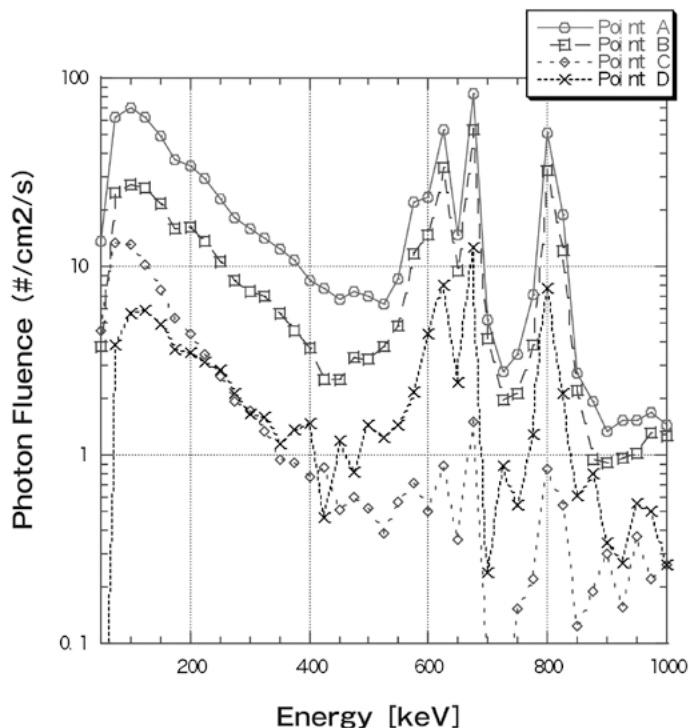


図1 福島県内における光子スペクトル測定例。Point Cのみ測定地点周辺が除染されており、Cs-134、137の γ 線成分に対して散乱線成分が大きくなっている。

* Tadahiro KUROSAWA 独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門 量子放射科 放射線標準研究室 主任研究員

らの γ 線よりも散乱線成分の線量への寄与が大きくなることが分かる。このような場所でエネルギー特性がフラットでない線量計で測定した場合、正確な線量が評価できない恐れがある。そのため線量計のエネルギー特性評価が重要となる。

サーベイメータ等のエネルギー特性には、Cs-137、Co-60の γ 線以外にX線が用いられている。管電圧は主に50kV以上300kV以下である。日本国内では、以前から線質指標 (Quality Index, QI) を使ってX線の線質を表してきた。国際的にはISO 4037において、放射線防護用のX線線質が示されている。そこで今回、これらの線質の特性等について紹介する。

2. X線線質について

2.1 線質指標 (QI)

日本では、以前からX線の線質を表す指標

としてQI (Quality Index) が用いられてきた^[2]。このQIは、式(1)によって求められる。

$$QI = \frac{E_{eff}}{E_{tube}} \quad (1)$$

ここで、 E_{eff} は実効エネルギー (keV) E_{tube} は管電圧 (kV) である。実効エネルギーは、半価層 (HVL) の測定によって決定している。主に銅フィルタを使って半価層を求め、光子のエネルギーを単色と考えて、その半価層となる光子エネルギーを光子エネルギー—減弱係数のテーブルから導き出す。産業技術総合研究所 (産総研) では、Q.I.はその線質が容易に推定できるよう、0.4~0.8まで0.1間隔で設定している。図2に管電圧40kVから250kVまで設定している各線質に対する付加フィルタを示す。図を見て明らかなように、実効エネルギーが管電圧に近くなる (QIの値が大きくなる) に従って、付加フィルタが厚くなっていることが分かる。付加フィルタによって低エネルギー成分が吸収され、スペ

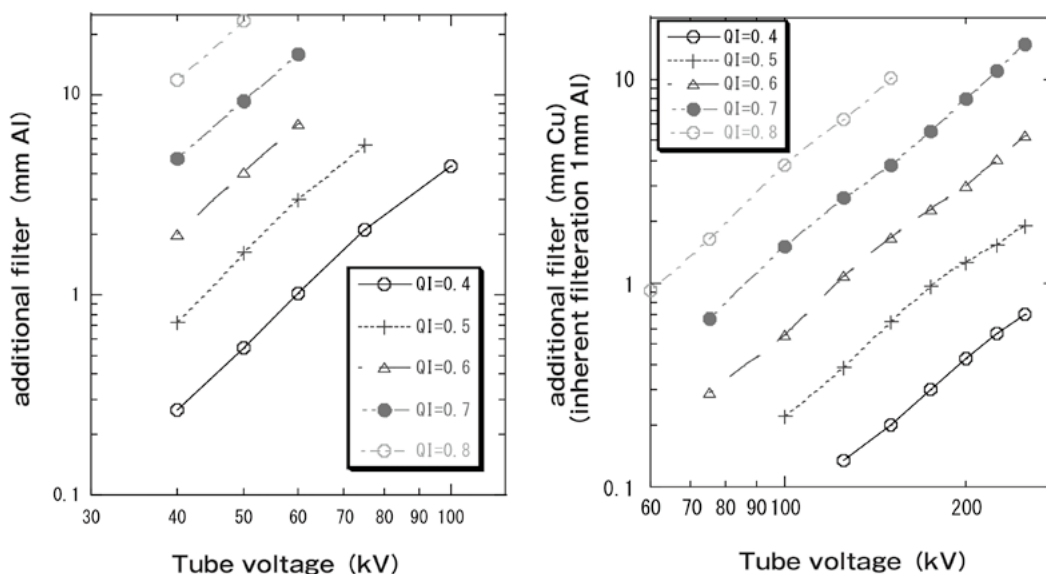


図2 QIシリーズに対する各管電圧での付加フィルタ。左図は付加フィルタとしてAlのみの設定を示す。右図は、付加フィルタとしてCuを使用している線質を示す。なおCuフィルタを用いた場合には、Cuからの特性X線を減衰させるために1mm厚のAlフィルタを用いている。

クトルが硬く（エネルギースペクトルの幅が狭く）なっているためである。この図には示されていないが、管電圧が高くQIの大きな線質を作るためには、Cuの付加フィルタだけでは不十分なため、SnやPbなどを用いて設定している。付加フィルタは、それぞれの線質を作るために入れているもので、X線管の構造（ターゲット角度や窓材、窓厚など）によってそれぞれ異なる。そのため、X線照射場を作る場合には、実測によって付加フィルタを設定する必要がある。また付加フィルタの設置の方法も重要である。AlだけでなくCuやさらに原子番号の大きいPbなどを用いた場合、フィルタから放出される特性X線のエネルギーも大きくなることから、これらの成分を吸収する必要がある。そのためCuを用いた場合には1 mm厚のAlフィルタをX線の下流においてCuからの特性X線を吸収させている。またSnやPbを付加フィルタとして使用した際には、CuとAlフィルタを併用して、それぞれの特性X線を吸収するように原子番号が大きいフィルタをX線管に近い位置に、原子番号が小さいフィルタを下流になるように設置する。

2.2 ISOに規定されている線質

国際的な放射線防護用のX線線質として、ISO 4037-1 (X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and dose rate meters and for determining their response as a function of photon energy – Part 1 Radiation characteristics and production methods)^[3] に示されている。ISOでは、以下に示すように大きく4つの線質に分かれている。

- (1) Narrow spectrum series
- (2) Wide spectrum series

- (3) Low kerma rate series
- (4) High kerma rate series

ISOでは、サーバイメータ等のエネルギー特性を評価する際にはNarrow spectrum seriesを用いるよう推奨している。一方、高線量率での試験が必要な場合には、Wide spectrum seriesやHigh kerma rate seriesを用いる必要がある。

3. 線質の比較

3.1 実効エネルギー

QIシリーズ、ISOシリーズの線質について半価層から求めた実効エネルギーを図3に示す。これから、ISOのNarrow spectrum seriesはQIの0.8に、Low kerma series はQIの0.9に、Wide spectrum seriesはQIの0.7に、High kerma rate seriesはQIの0.5に近いことが分かる。

サーバイメータ等のエネルギー特性を試験する際には、実効エネルギーの高いQIが0.8やNarrow spectrum seriesが一般に用いられるが、付加フィルタ厚が厚くなることによって線量率が低くなってしまふ。そのため高線量率での試験が必要な場合には、実効エネルギーが低いQIが0.5やHigh kerma rate seriesを選択する場合も考えられる。

3.2 空気カーマ―線量当量換算係数

ISO Narrow spectrum series およびWide spectrumの線質について、空気カーマから周辺線量当量 $H^*(10)$ 、個人線量当量 $H_p(10)$ への換算係数の例を表1および表2に示す。これらの換算係数は、ISO 4037-3に記載されている。60keV以上では単色エネルギーでの換算係数とそれほど大きな違いがみられない。一方、そ

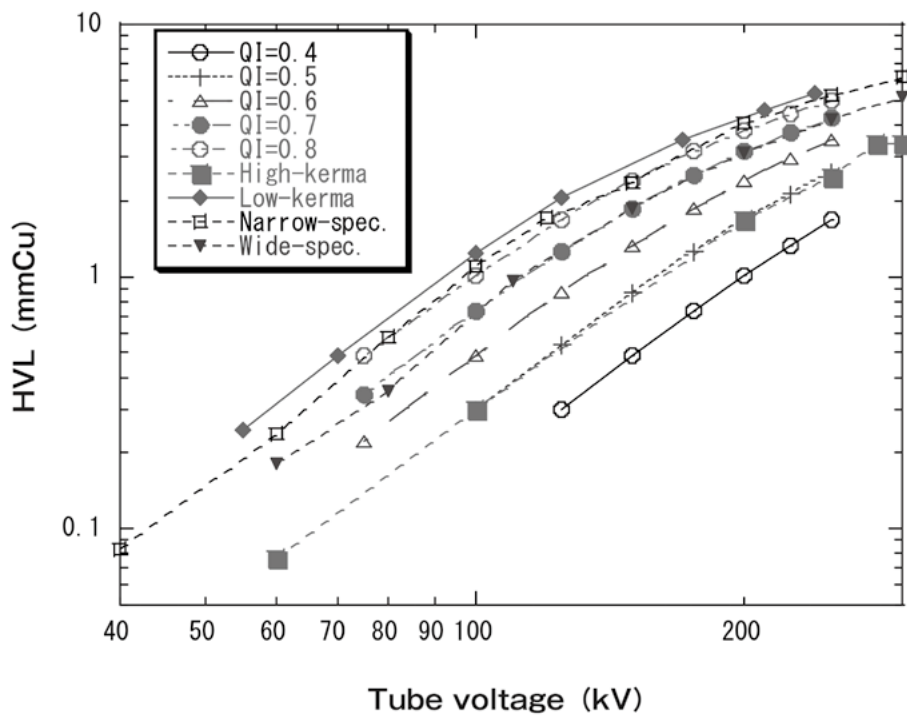


図3 QIシリーズ、ISO 4037に示されるX線線質シリーズの半価層

表1 ISO Narrow spectrum seriesに対する空気カーマから線量当量への換算係数

Energy setting(kV)			Effective CF			
	Mean Energy (keV)	Resolution (%)	H* _K (10)	H* _K (0.07)	H _{pK} (10)	H _{pK} (0.07)
300	250	27	1.35	1.31	1.42	1.38
250	208	28	1.39	1.34	1.48	1.42
200	164	30	1.46	1.39	1.57	1.49
150	118	37	1.58	1.50	1.73	1.61
120	100	27	1.64	1.55	1.81	1.67
100	83	28	1.71	1.60	1.88	1.72
80	65	32	1.73	1.60	1.88	1.72
60	48	36	1.59	1.48	1.65	1.55

れより低いエネルギーでは、換算係数自体が大きく変化するため、スペクトルの形状に大きく依存して変化する。そのため低エネルギー

領域で線量当量を設定する際には、スペクトル測定等を行うなど注意が必要である。

表 2 ISO Wide spectrum seriesに対する空気カーマから線量当量への換算係数

Energy setting(kV)			Effective CF			
	Mean Energy (keV)	Resolution (%)	H [*] _K (10)	H' _K (0.07)	H _{pK} (10)	H _{pK} (0.07)
300	208	57	1.39	1.34	1.47	1.42
250	173	56	1.44	1.37	1.54	1.47
200	137	57	1.52	1.44	1.65	1.55
150	104	56	1.62	1.53	1.77	1.64
110	79	51	1.71	1.59	1.87	1.71
80	57	55	1.66	1.54	1.77	1.64
60	45	48	1.49	1.43	1.55	1.49

4. まとめ

国内外の放射線防護に用いられるX線場について、その線質の特徴などを紹介した。付加フィルタの組み合わせにより、様々な実効エネルギーや線量率の線質を設定できる。そのため校正や試験対象となる線量計に対して、適切な線質を選択して行うことが重要である。

放射線計測においても、国外の線量計が輸入されたり、また逆に輸出される場面も多くなってきていると聞く。サーベイメータの規格であるJIS Z4333^[4]も対応する国際規格であるIEC 60846-1^[5]に準拠した形で2014年に改正されるなど、国内でも国際的な規格を取り入れ、斉一化を図っている。これらの線量計の校正についても、国際的に統一された基準で行われる流れになっていると思われる。

参考文献

- [1] T. Kurosawa, H. Iwase, N. Saito, Field photon energy spectra in Fukushima after the nuclear accident, J. Nucl Sci. and Tech., Vol. 51, No. 5, (2014) 730-734
- [2] T. Kurosawa, N. Takata, Estimation of Electron-loss and Photon-scattering

Corrections for Parallel-plate Free-air Chambers, J. Nucl Sci. and Tech., Vol. 42, No. 12 (2005) 1077-1080

- [3] ISO 4037-1:1996 X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their respose as a function of photon energy – Part 1 Radiation characteristics and production methods
- [4] JIS Z 4333 : 2014 X線、 γ 線及び β 線線量当量(率)サーベイメータ
- [5] IEC 60846-1:2009, Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation – Part 1: Portable workplace and environmental meters and monitors

著者プロフィール

1995年 東北大学工学部原子核工学科卒業。
 2000年 東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻博士課程修了。工学博士。
 2000年 工業技術院電子技術総合研究所入所。
 2001年組織変更に伴い、独立行政法人産業技術総合研究所となる。 γ 線、X線の線量標準の開発、供給に従事。

国際電気標準会議 原子力専門委員会の報告



柚木 彰*

1. はじめに

平成26年10月2日から10月11日まで米国ネヴァダ州のラスベガスで開催された、国際電気標準会議 (IEC) 原子力専門委員会 (TC45) に参加したので報告する。IECは1906年に設立され、電気及び電子技術を対象として標準化を進めている。TC45は原子力計測分野の規格を審議する専門委員会として設けられ、1960年の第1回会議以降、今回のラスベガス会議で45回目になる。今回、日本からはTC45国内委員会委員長の東京大学 高橋浩之氏を代表に、26名の専門家が参加して規格審議を行った。

2. TC45委員会構成

TC45は2つの分科委員会SC45A (原子力施設の計測制御) 及びSC45B (放射線防護計測)、並びに用語・分類、放射線検出器とシステム、放射線応用機器に関連する規格を作成する作業グループで構成されている。SC45Aは原子力発電所、原子燃料サイクルの全工程、及び廃棄物処理に関わる計測制御システムに用いられる、電子・電気機器、システム及び設備に関する規格を作成する。SC45Bは放射線防護計測機器全般を担当し、通常時及び事故時

の個人の外部被ばく及び内部被ばくの測定装置並びに、作業環境、排水・排ガス、環境中、及び食品中の放射性物質の測定装置の規格を作成する。また、放射性物質の不法移転の検知と同定に関連する装置の規格を作成する。関係の深い国際機関等としてはIAEA、ISO/TC85、IEEE、ICRP、CENELEC等がある。以下にTC45の作業グループ構成を示す。

TC45：原子力計測専門委員会

- WG1：用語・分類
- WG9：放射線検出器とシステム

SC45A：原子力施設関連計測制御分科委員会

- WG2：検出器および計測手法
- WG3：原子力発電プラント安全系へのデジタルプロセッサの適用
- WG5：原子炉特殊計装・放射線モニタ
- WG7：原子炉安全系電気機器の信頼性
- WG8：制御室
- WG9：原子炉計測システム
- WG10：原子力発電プラント計測制御システムの改善と近代化
- WG11：電気システム

SC45B：放射線防護計測分科委員会

- WG5：環境モニタリング用放射線防護計器
- WG8：電子式能動形線量当量(率)計及びモニタ

* Akira YUNOKI 独立行政法人産業技術総合研究所 計測標準研究部門 量子放射科 放射能中性子標準研究室 室長

WG9：原子力施設内の放射線・放射能モニタリング用据置形装置

WG10：ラドン及びラドン壊変生成物測定装置

WG14：外部放射線モニタリング用受動形線量計測システム

WG15：スペクトロメトリ・作業用電子式線量計・携帯形線量率計による不法往來監視測定装置

WG16：汚染計及び汚染監視装置

注) 今回会議でSC45BのWG8及び

WG14の統合、並びにX線コンピュータ断層撮影技術等を用いたセキュリティスクリーニングシステムに関連する規格を取り扱うWG17の新設が決定されている。

国内では、日本工業標準調査会（JISC）より、（一社）日本電気計測器工業会が審議団体として認められ、TC45国内委員会を組織している。国内委員会は、大学・研究機関、電力会社、原子力・放射線関連の製造業者等により構成されている。

3. IEC規格の審議手順

IEC規格の審議は、プロジェクトリーダーが取りまとめた原案に対し、各国がコメントし、それらを適切に反映していくことで、全ての関係者のコンセンサスを形成していく作業である。具体的な原案作りは作業グループ単位で進められる。新規規格提案の場合は、提案者の所属する国内委員会から新規作業提案（New Work Item Proposal）がなされ、原案又はその骨子が回付される。この段階での文書番号にはNPの文字が付されており、審議側はそれが新規提案文書であることが分かる。既存規格の改正の場合は、必要に応じてコメント用

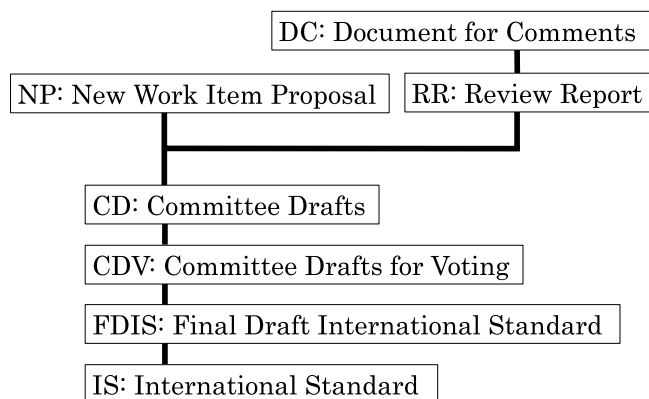


図1 IEC規格の審議文書の流れ

文書（DC：Document for Comments）を回付し、その結果を改正要否確認の報告（RR：Review Report）にまとめ、それに従って作業を始める。いずれの場合も作業グループで検討を重ねた後に、委員会原案（CD：Committee Drafts）が作成されTC45参加国に回付される。CDに対するコメントを反映したのが投票用委員会原案（CDV：Committee Drafts for Voting）で、各国は原案に対するコメントを寄せるとともに、原案が技術的に妥当であり、コンセンサスが得られていて、国際規格化に向けた最終作業に進むのが妥当であるかについて投票する。技術的な審議はこの段階で終わる。作業グループでは定期的な会合の他に、必要に応じて中間ミーティングを開催し、コメントが適切に反映されるよう議論を重ねている。CDVへのコメントを反映したのが国際規格最終原案（FDIS：Final Draft International Standard）である。この段階に至るまでに通常2～4年を要する。FDISが承認された後は、若干の事務手続きを経て、速やかに国際規格（IS：International Standard）が発行される。図1に審議文書の流れを示す。コンセンサスを形成する範囲が広いため、単年度で審議が終了し、委員もその都度任命されるJISの審議とはかなり違った手順となっている。

4. 審議の概要

前述のように具体的な規格審議は作業グループ単位で進められる。会期のほとんどは作業グループの会合に充てられ、会期の最終日前日に分科委員会（SC45A及びSC45B）の全体会合、最終日に専門委員会（TC45）の全体会合を開催する。全体会合では進捗確認や方針検討が行われる。図2に会議風景を示す。

以下に読者に関係が深いと思われる、SC45Bの作業グループの審議概要を示す。

WG5では、環境中の流出液体、表層水中、地表面、空中等に存在する放射性物質をモニタリングするための放射線測定装置の規格を審議している。モニタリングポストなどが対象製品となる。今回はIEC 61017（環境モニタリング）が審議された。

WG8では電子式個人線量計の規格及び線量当量率サーベイメータの規格を審議している。今回はIEC 61005（中性子線量(率)計）及びIEC 60846-2（緊急時用高レンジ β 線、 γ 線量及び線量率モニタ）が審議された。又、受動形線量計測システムの規格を審議するWG14を合併することとした。Hp(3)の記載について次回会議で議論する。

WG9では、X線、 γ 線及び中性子を監視する据置形の線量計、警報装置及びモニタに関する規格を審議している。今回、IEC 61322

Ed.1の改正作業を行うことになり中村尚司委員がプロジェクトリーダーとなった。

WG10では、ラドン及びラドン壊変生成物を測定対象とした空気中放射能測定のための捕集装置及び測定装置の規格を審議している。今回はIEC 61577-1 Ed.2の改正作業を進め、また受動式積算形ラドン測定システムを新規に提案することを決めた。

WG14では外部放射線のモニタリングを目的とした受動式線量計を用いた計測システムに関する規格を審議している。今回は審議案件がなかった。WG14が取り扱うIEC 62387（受動式積算形線量計測システム）については、今のところ2012年改正の現行版の改正の予定はない。同規格を引用・参照しているCENELEC（欧州電気標準委員会）、EN（European Norm：欧州規格）ともに、2012版の正式導入は始まっておらず、Hp(3)測定も義務づけられていない。米国ではANSI（N13.11）規格に基づく。それ以外の国では基本的にISO/IEC規格、IAEA Safety seriesに基づいて国内標準化が進められている。日本はTLDを規定したJIS Z 4320がIEC 61066に準拠している他は、蛍光ガラス線量計を規定したJIS Z 4314、OSLを規定したJIS Z 4339、X線及び γ 線用個人線量計通則（JIS Z 4332）は、いずれも国際規格に準拠したものではない。製品ベースではIEC規格準拠が進められており、上記JISもIEC規格に準拠したものとなるよう、今年度から改正作業を開始した。将来的には受動式個人線量計JISの一本化を目指している。

WG15では国境等における放射性物質の不法往来を監視する計測装置（サーベイメータ、スペクトロメータ、ゲートモニタ等）に関する規格を審議している。今回はIEC 62327（放射性核種の検出及び同定並びに光子放射線による周辺線量当量率の表示のための携帯型機器）、及びIEC 62401（放射性物質の不法往来を検知するための警報付個人放射線計測器（PRD））を審議した。



図2 SC45B全体会合の風景

WG16は旧WG7（放射性表面汚染測定装置）及びWG12（食品放射能汚染測定装置）の活動を引き継ぎ、既存規格のメンテナンス及び新規規格の作成を行う。今回はIEC 61563（食料品中の γ 線放出核種の放射能測定装置）の文書改正を審議した。

WG17はX線コンピュータ断層撮影技術を用いたセキュリティスクリーニングシステムを扱うプロジェクトチームとして活動していたが、今回会議で常設の作業グループとなることが決定した。

作業グループ以外にアドホックグループとして幾つかの会合が行われた。

5. 今後の展開

IEC規格やISO規格は日本工業規格（JIS）の基礎となっている。特にSC45Bは放射線関連のJISが対象とする、放射線防護機器を所掌しているので関係が深い。例えば本年改正された、JIS Z 4333（X線、 γ 線及び β 線用線量当量(率)サーベイメータ）のようにIEC規格との整合を図るために大きな改正が行われることも少なくない^[1]。それによって校正事業者のサービス内容が変わる場合もある^[2]。一方、国際規格に整合したJISが整備できれば、国内製品の国際的な信頼性が期待できる。規格審議に際しては、試験方法や許容値など、国内規格となった場合を想定しなければならない。また国内に高い技術がある製品については、他国に真似が出来ない要求を入れることにチャレンジしていく必要もあろう。製品開発においても、製品の運用経験においても日本は世界をリードする十分な実力があるはずで、そのポテンシャルを適正に反映した、積極的な活動が期待される。現在TC45では作業グループの主査のうち日本人は3人、進行中のプロジェクトでは5人がプロジェクトリーダーとして汗を流している。それを支える多くの日本委員

が会議に参加し積極的に審議を支えている。今後、活動をさらに確かなものにするため、委員の所属機関における支援が大切なのは言うまでもないが、機関同士の連携強化も重要であると考えている。

新規分野への目配りも重要である。今回新しい作業グループとなることが決まったWG17は、中国からの規格提案がきっかけとなった。国内製品がないからと言って手をこまねいている間に市場を占められてしまうことがないようにしなければならない。

6. 会議場及び周辺の環境

会議が行われたラスベガスは米国南西部にあり、砂漠の中の街である。周囲は図3に示すような山で囲まれていて、近くには図4に示



図3 ラスベガスを取り囲む山々



図4 フーバーダム



図5 会議会場となった
Palace Station Hotel and Casino

すフーバーダムがある。賭博場で有名なラスベガスだけあって、空港内にもゲーム機が並んでいた。会議会場となったPalace Station Hotel and Casinoは中心街からやや離れた場所にあったが、他のホテル同様、賭博施設と宿泊施設が一緒になったホテルで、会議室まで行くのに賭博場を通らなければならなかった。会場の外観を図5に示す。

審議活動以外では会期途中の10月8日にNevada National Security Siteを訪問した。ラスベガスの会議会場からバスで1時間ほどの所にあり、核実験を繰り返し行った場所として有名である。幾つかの実験跡を見学したが、ここにはかつて現TC45議長のM. Cox氏(米国)が関係していた原子力ロケット開発の施設があり、今回わざわざほとんどの作業グループの審議を止めて見学会が設定された。液体水素を炉心冷却に用い、一気に過熱して推進力を得る仕組みで、噴射実験までしたというから驚きである。

同日の夜には会議参加者による懇親会が開催された。後半はお決まりの各国委員による歌合戦となり、日本委員も即席合唱団を結成して喝采を受けた。図6にその姿を示す。審議中は作業グループ単位で行動することが多く、日本委員同士の親睦を深めるためにも懇親会は大切であった。



図6 日本委員による即席合唱団

7. おわりに

SC45Bの活動を中心に国際電気標準会議 原子力専門委員会 (IEC/TC45) ラスベガス会議の概要を紹介した。本稿を作成するにあたり、作業グループの審議概要は日本から参加した委員各位の報告あるいは情報提供に基づいた。ここに感謝する。

参考文献

- [1] 加藤 徹、JIS Z 4333: 2014「X線、 γ 線及び β 線用線量当量(率)サーバイメータ」の紹介、放計協ニュース、No.54、Oct. 2014、2-4頁。
- [2] 酒井昭宏、改正されたJIS Z 4333: 2014対応開始のご案内、FBNews、2014年7月、No.451、17頁。

著者プロフィール

1986年3月早稲田大学大学院理工学研究科物理学及び応用物理学専攻(修士課程)修了。同年4月 株式会社東芝入社、原子力計装システムの設計及び放射線検出器の開発業務に携わる。2005年4月独立行政法人産業技術総合研究所に入所。計測標準研究部門にて放射能計量標準の維持・供給及び開発業務に従事、現在に至る。博士(理学)。IEC/TC45には1998年より参加している。

FNCA大臣級会議とオーストラリア研究炉の成功物語

元・原子力委員 町 末 男



2014年11月19日シドニーで「アジア原子力協力フォーラム (FNCA)」の15回大臣級会合がオーストラリア政府主催により開かれた。日本では衆議院選挙があり、共同主催の日本の山口大臣は残念ながら出席できず、ビデオで開会挨拶を行った。

主催国オーストラリアの原子力担当マクファーレン産業大臣が総合議長として開会の挨拶を述べ、次いで共同主催国日本の阿部原子力委員長代理が開会挨拶を行った。

炉は極めて有効に活用されており、研究炉の「成功モデル」として今回の大臣級会議で報告された。

日本は核医学で必要不可欠な「モリブデン-99」の大部分をカナダからの輸入に依存している。そのカナダが原子力炉の老朽化のため16年以降は製造を停止する。そのため日本をはじめ、多くの国で供給不足が懸念されている。このような状況を予測してANSTOはOPALによるモリブデン-99の製造能力を2016年以降大幅に約3倍に拡大し、3500Ci/週とする工事を行っている。これで世界の需要量の25%を賄うことができる重要な供給国となる。原料としては19%濃縮のウランを使用しており、核不拡散上も問題ない。

また、濃縮ウランを原料としてモリブデン-99製造の際に生ずる高レベル放射性廃棄物を処理するための固化法として、ANSTOが開発した「シンロック法」を利用する実規模プラントを建設する事も大変注目される。シンロックは従来のガラス固化体に比べ放射性物質に対する密閉性が極めて高く、固化体の体積も小さくできる利点がある。この技術が実用規模で実証されれば、将来再処理からの高レベル放射性廃棄物の固化処分法としても実用が期待される。更にOPALでは肝臓がん治療用のイットリウム-90、転移「骨がん」の激痛を抑えるのに効果的なサマリウム-153の生産も行っている。

更に、研究炉の利用で重要な「中性子注入法による高品質シリコン半導体の製造」も順調に進めており、日本を含め多くの国に輸出し利益を得ている。このような実用的な利用に加えて、中性子ビームを利用した基礎研究を大学や民間との協力研究を含め幅広く進めて成果を挙げている。この成功例はこれから研究炉を設置しようとする国々のモデルとして、大変役立つ。(2014年12月16日稿)

マクファーレン産業大臣FNCAを高く評価

マクファーレン産業大臣は開会挨拶で、1990年3月日本の原子力委員会がアジア原子力協力会議を東京で主催して以来、FNCAは参加国の発展のために原子力科学技術の利用を推進して来たと高く評価し、15回を記念するこの会議でも重要な共通の目的達成に向けて議論したいと述べた。これに続く各国代表の演説でもFNCAの成果の利用の成功例が紹介された。



FNCA大臣級会議で開会挨拶をするオーストラリアの原子力担当マクファーレン産業大臣

オーストラリア研究炉 (OPAL) の成功物語ーモリブデン-99の製造

オーストラリア政府が、おおよそ350億円を投じて建設したオーストラリア原子力科学技術機構ANSTOの20MWの多目的研究炉OPAL

眼の水晶体の線量限度変更と動向について

大口 裕之*

1. はじめに

2011年4月17日に韓国で開催された国際放射線防護委員会（ICRP）の会議において、放射線作業員に対する水晶体の等価線量限度をこれまでの150mSvから5年平均20mSv/年、年最大50mSvに引き下げる声明が発表された。この発表の根拠となっている眼の水晶体の白内障に関する科学的根拠は、2012年に出版されたICRP Publication 118⁽¹⁾で詳しく記載されている。この声明を受け、国際原子力機関（IAEA）では、国際基本安全基準（BSS）の下でICRP声明を支持したBSS暫定版が刊行された。また、BSS改訂を踏まえて、IAEAでは、BSSの要件をまとめた技術文書（IAEA Tech doc「Implications for occupational radiation protection of the new dose limit for the lens of the eye」）が、2014年1月に刊行された⁽²⁾。国際間の規格を制定する機関としては、国際電気標準会議（IEC）と国際標準化機構（ISO）がある。IECでは、2012年12月に改訂されたIEC62387⁽³⁾に眼の水晶体の線量測定（Hp(3)）に関する要件が盛り込まれて出版された。ISOでは、ISO 15382 “Radiological protection - Procedure for monitoring of the dose to the extremities and the lens of the eye”の規格が現在進められている。ここでは、これまでの経緯と水晶体被ばくの防護について紹介する⁽⁴⁾。

2. 水晶体の等価線量限度を下げた経緯

今日の水晶体の等価線量限度150mSv/年の根拠は、分割・遷延被ばくによる視覚障害性白内障へのしきい線量を $>8\text{ Sv}$ としたPublication 41である。ソウル声明の科学的根拠は、2012年に出版されたICRP Publication 118に記載されている。この報告書では、白内障に関する論文が多数引用され、その内、しきい線量に関する論文としては、3つの論文がある。1つ目は、730人の原爆被爆者における水晶体混濁を調査した際の後囊下白内障と皮質白内障のしきい線量を示した論文。2つ目は、線量評価可能な3,761人の原爆被爆者における白内障手術歴のしきい線量を示した論文。3つ目は、チェルノブイリ事故の清掃員8,607人を対象として調査した、全白内障、後囊下白内障、皮質白内障等のしきい線量を示した論文である。これらの論文から、急性被ばくによる視覚障害性白内障のしきい線量は、0.5Gyと判断された。しきい線量が下がった理由として、「線量が低くなると潜伏期間が長くなるため、従来の短期間追跡調査では初期の水晶体の変化を十分な感度で検出できなかったが、近年の長期の追跡調査によりしきい値が下がった」ことを挙げている。但し、疫学的知見の不確実性から、しきい線量の判断は困難とされた慢性被ばくの影響は急性被ばくと同じであると仮定している。

* Hiroyuki OHGUCHI 弊社 線量計測事業本部 線量計測技術部 部長

3. ISO、IECの動向

ISOは、正式名称を国際標準化機構（International Organization for Standardization）といい、各国の代表的標準化機関からなる国際標準化機関の中で、電気及び電子技術分野を除いた全産業分野（鉱工業、農業、医薬品等）に関する国際規格の作成を行っている。ISOは主要な産業分野の標準化を「技術委員会（Technical Committee、日本工業標準調査会では、「専門委員会」の訳を用いている）」の下で行う。TCはTC1からTC229まであり、さらにTC230からTC243まではプロジェクト委員会という形態をとっている。TC85は、原子力エネルギーを意味し、TC85/SC2は、原子力エネルギー分野の放射線防護を意味している。

一方、IEC（国際電気標準会議）は、1906年に設立され、電気及び電子の技術分野を対象とする標準化を進めている。IEC規格は、様々な分野があり、原子力計測に関わる規格作成は、原子力計測専門委員会（TC45）が担当している。TC45は、1960年から開催され、1年に1回程度で開催されている。国内では、日本工業標準調査会（JISC）より、日本電気計測器工業会が審査団体として認められ、TC45国内委員会を組織している。国内委員会は、大学・研究機関・電力会社、原子力、放射線関連の製造業者等により構成されている。

これまでのISOとIECの国際規格（ISO/IEC）は、各個人線量計毎に個別規格を纏め、ISOとIECは、独立した内容で規格を行ってきた。しかし、最近ではISOとIECの委員が重複することもあり、両者間の規格が歩み寄る傾向を示してきた。IECでは、光子及び β 線に関する環境及び個人モニタリングを対象とした各種受動型線量計に共通する規格IEC62387を2012年12月に改訂した。この規格では、放射線施設で利用する線量計が、現場の環境下に見合った特性が得られるように、方向特性を重視した内容となっている。また、この規格には、眼の

水晶体の線量測定（Hp(3)）に関する要件が盛り込まれている。

一方、ISOでは、IECの規格を受けて、ISO 15382 “Radiological protection - Procedure for monitoring of the dose to the extremities and the lens of the eye” 眼の水晶体を含んだ手順書の改定を現在進めている。既存の規格では、適用範囲が原子力施設における β 線等による個人被ばくモニタリングに限定されていたが、今回の改定では、X・ γ 線及び β 線を対象とし、適用範囲を需要が増加している医療関係の被ばくにも拡張している。また、眼の水晶体の等価線量限度を最新のICRP勧告に合わせて、水晶体の等価線量限度（100mSv/5年、50mSv/年）に変更している。眼の水晶体を評価する線量計の装着位置については、評価上で最も重要な項目であるので、詳細に記載されている。眼の水晶体に対する線量計は、できる限り眼の近傍に装着すべきであり、可能であるなら放射線源側の方向に線量計を装着する方が良い。特にインターベンショナルラジオロジー（IVR）を取り扱う術者に対しては、X線管球側に線量計を装着すべきであると記載されている。また、X線防護眼鏡または顔面マスクを利用する際には、線量計の装着位置は、その背後になるべく掛けるべきであるが、実用的でないので、X線防護眼鏡近傍または外側に線量計を装着する。この場合には、眼の水晶体を評価する補正係数が提供されるべきであると記載されている。水晶体近傍に線量計を装着することが実用的できない場合に関しても幾つかの論文を記載している。水晶体の線量を襟、頭など異なる部位に装着した線量計から評価する方法が提案されているが、ルーチンで採用した場合の問題点についても記載されている。たとえば、X線防護眼鏡で減弱する能力と同じ効果のフィルターを線量計前面に覆う場合、多くのX線防護眼鏡の種類には、傾斜角度の大きい方向からの放射線に対して放射線防護を考慮していないので、過

小評価する可能性がある。眼の水晶体測定に対する積算線量計システムの技術仕様については、IEC62387で定義され、実用量Hp(3)を使用するように記載している。また、IAEAのBSSでまとめた技術文書（TECDOC）に記載されている眼の水晶体の評価が必要であるかを判定するためのフローを追加している。眼の水晶体用の線量計に関しては、TLD、OSL、ガラス線量計を用いて開発が進められ、最近では、市場で容易に入手できるようになってきていることが記載されている。

4. 現行法令の現状

1) 個人線量計の測定対象

個人線量計の測定対象は、 $X \cdot \gamma$ 線、 β 線及び中性子の各放射線を対象とし、放射線の種類に応じて線量当量を測定している。

- ① $X \cdot \gamma$ 線用の個人線量計は、1 cm線量当量と70 μ m線量当量を測定する。
- ② β 線用の個人線量計は、70 μ m線量当量を測定する。
- ③中性子用の個人線量計は、1 cm線量当量を測定する。

* β 線に関しては、エネルギーの高い電子線（2.5MeV以上）の眼の水晶体の等価線量の算定は、1 cm線量当量の値を推奨している。しかし、各種の放射線を分離測定する必要のある個人線量計では、一般に低エネルギーのX線と高エネルギーの β 線を分離することが困難であり、測定仕様に含まれる β 線のエネルギー範囲は3 MeV程度以下となることが多いので、70 μ m線量当量を対象としている⁽⁵⁾。

2) 個人線量計の装着及び算定

放射線業務における被ばくには、全身の均等被ばく、不均等被ばく及び末端部被ばく等の業務の種類や作業内容等によって、様々な形態がある。実効線量及び等価線量を適切に

評価するためには、被ばく形態に応じた個人線量計の使用が非常に重要である。

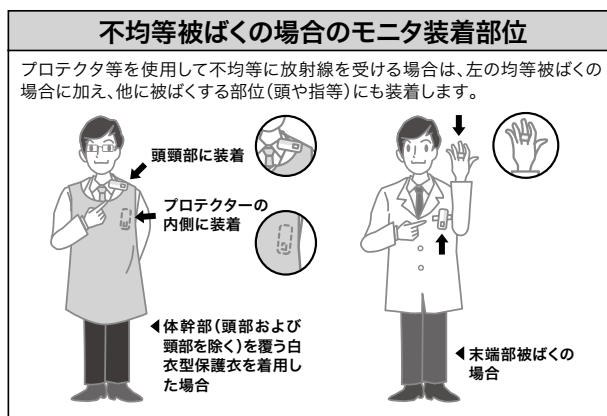
a) 体幹部均等被ばく

体幹部均等被ばくとは、頭部及び頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部のそれぞれの部分（総称して体幹部という。）の受ける放射線の量が個人線量計の所定の使用期間を通じて、ほぼ均等（不均等と特定できない場合）である状態を言う。体幹部均等被ばくでの装着部位は、男性で胸部、女性で腹部に1個の個人線量計を装着する（この装着を基本部位とする）。但し、放射線作業の状況によっては、常に側面から放射線を受ける場合は側面、常に背面から放射線を受ける場合は背面に個人線量計を装着することになる。

実効線量及び眼の水晶体の等価線量は、体幹部に装着した個人線量計の測定値から算定する。 $X \cdot \gamma$ 線にかかる眼の水晶体の等価線量は、1 cm線量当量または70 μ m線量当量の最大値から算定を行い、 β 線では、70 μ m線量当量の値から算定する。中性子に係る眼の水晶体の等価線量の算定は、1 cm線量当量の値から算定する。

b) 体幹部不均等被ばく

体幹部不均等被ばくとは、頭部及び頸部、胸部及び上腕部、腹部及び大腿部のいずれかの部分が、個人線量計の所定の使用期間を通じて概ね基本部位よりも多く放射線を受けることを意味している。この状況が起こりえる作業が存在する場合には、基本部位の他に最も多く放射線を受ける恐れのある部位に個人線量計を1個、合計2個の個人線量計を装着する。装着例1としては、胸部と腹部を覆う白衣型X線防護衣を着用する場合には、頭部又は頸部に1個、防護衣の内側の胸部（女子は腹部）に1個、合計2個の個人線量計を装着して対応する。装着例2としては、最も多く放射線を受ける恐れのある部分が基本部位以外の場合で、その部分が特定できないときは、基本部位に1個と頭部又は頸部に1個と腹部



又は大腿部（女子は胸部又は上腕部）に1個、合計3個の個人線量計を装着して対応することになる。

実効線量は、各線量計で得られた測定値を基に計算を行い、眼の水晶体の等価線量は、頭頸部に装着した線量計から得られた測定値を基に算定する。

c) 均等被ばく＋末端部

末端部に被ばくが多い場合、体幹部の基本部位と末端部に各々個人線量計を装着することが必要となる。この場合、実効線量及び眼の水晶体の等価線量は、体幹部に装着した個人線量計の測定値から算定する。

d) 不均等被ばく＋末端部被ばく

不均等被ばくの形態でさらに末端部の被ばくが多い場合には、体幹部に複数個の個人線量計を装着し、末端部に個人線量計を装着することが必要となる。実効線量は、各線量計で得られた測定値を基に計算を行い、眼の水晶体の等価線量は、頭頸部に装着した線量計

から得られた測定値を基に算定する。

3) 職種別実効線量及び水晶体の等価線量⁽⁶⁾

FBNewsでは、被ばく線量分布の集計方法を毎年9月号と11月号に掲載している。Fig. 1は、2012年度の業種別平均実効線量を表している。ここでXは、検出限界未満を表している。業種別年平均実効線量では、医療と非破壊検査が、他の業種に比べて15倍程度高い。しかし、医療分野の各線量区分の内訳では、医療分野全体の74%が検出限界未満であり、従事者全員が他の職種と比べて高い線量で被ばくして

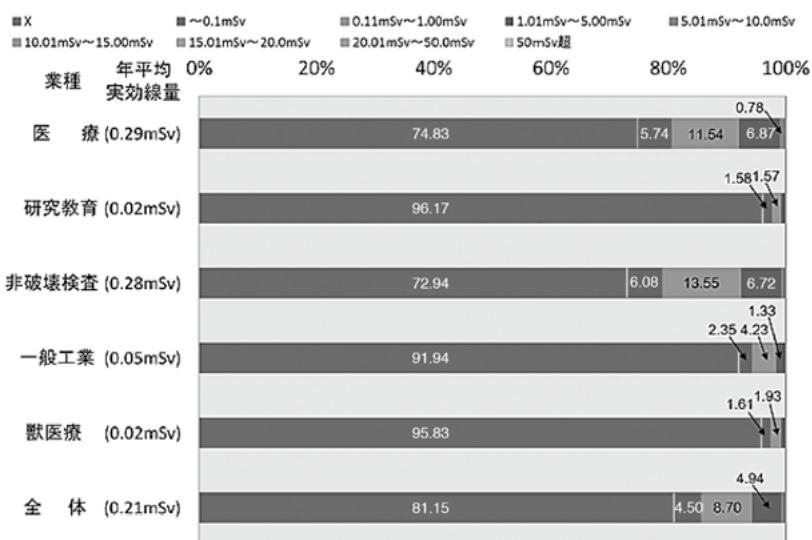


Fig. 1 2012年度の業種別平均実効線量の分布

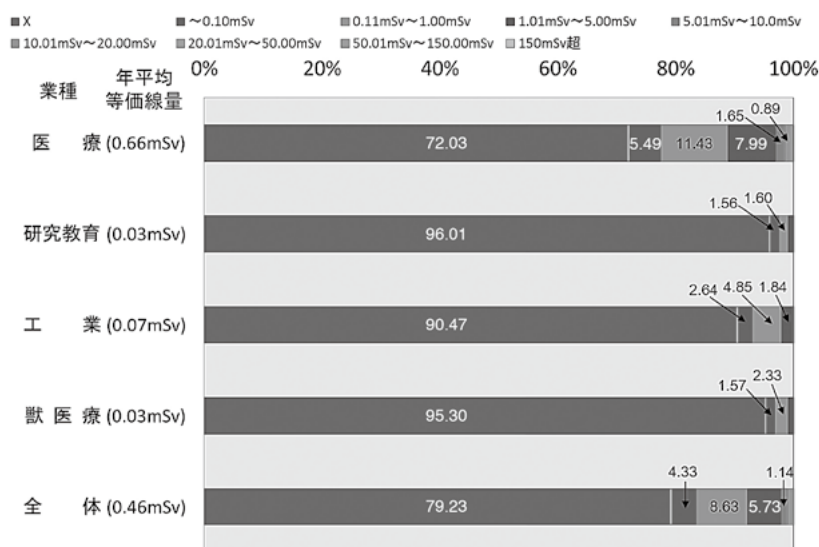


Fig. 2 2012年度の業種別水晶体の平均等価線量の分布

いるわけではない。また、年実効線量で50mSvを超過した従事者の数は、2012年では、どの業種も0人であった。20mSv～50mSvの従事者は一般工業関係者で3人、獣医療関係者で0人となっている。

Fig. 2は、2012年度の業種別水晶体の年等価線量の分布を示している。年等価線量は、医療関係者が最も高いことが分かる。しかし、医療分野での検出限界未満の占める割合は、年平均実効線量の70%とほぼ同じ割合を示している。眼の水晶体の被ばく人数に関しては、20mSv以上の割合は、医療関係者全体の0.5%程度（約880人）であり、工業関係者全体で0.02%（6人）、研究教育関係で0.001%（1人）となっている。また、現行法令である眼の水晶体の線量限度150mSvを超える人数については、医療で2人、工業、研究機関、獣医療で該当者0人である。この人数は、年実効線量に比べて遥かに多いことから不均等の線量計で得られた結果となる。今後、放射線従事者の眼の水晶体等価線量限度が、150mSv/年から5年平均で20mSv/年、但し単年で50mSvを超えないようになった場合、眼の水晶体の等価線量20mSv超過は、医療で増加することは

明白である。放射線防護三原則である「距離」「時間」「遮蔽」を遵守し、防護用眼鏡等で眼の水晶体等価線量低減を講じることが今後必要となる。

*日本放射線安全管理学会の許可を得てJRSMB邦文誌13巻2号から一部転載しております。

参考文献

- (1) ICRP Statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs - threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context, ICRP Publication 118, *Ann. ICRP*, 41 (1/2) (2012).
- (2) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye, IAEA TECDOC 1731 (2013).
- (3) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Radiation Protection Instrumentation - Passive Integrating Dosimetry Systems for Environmental and Personal Monitoring of Photon and Beta Radiation, IEC 62387 (2012).
- (4) 大口裕之、「4.2水晶体の線量限度変更を巡って」、日本放射線安全管理学会、Vol.13 No.2, 140-142 (2014)
- (5) (財)原子力安全技術センター：「被ばく線量の測定・評価マニュアル」（2000）、FBNews、No.441,7-15 (2013.9).
- (6) 赤羽恵一、「水晶体の放射線防護に関する専門研究会中間報告書(Ⅱ)－水晶体、白内障、ICRPが勧告した新たな水晶体等価線量限度の概要－」、保健物理、49(3),153-156 (2014)

「第11回テクノル技術情報セミナー」を終えて －「最近の放射線計測への要求事項と ICRP勧告の動向について」－

弊社では、社の企業理念である「放射線の安全利用技術を基礎に人と地球の安心を創造する」の一環として、毎年テクノル技術情報セミナーを開催しております。今年度は、平成26年10月16日(木)、17日(金)の二日間、茨城県水戸市内のホテルおよび弊社大洗事業所(茨城県東茨城郡大洗町)にて「第11回テクノル技術情報セミナー」として開催いたしました。

今回のテクノル技術情報セミナーには、全国の電力会社様および関連企業様、ならびに原子力に関する研究所にお勤めの方々54名のお客様が参加されました。初日は午後からの開催で、2題の特別講演がありました。

特別講演Ⅰは、「校正における不確かさについて－電離箱サーベイメータ校正等－」と

題し、産業技術総合研究所の黒澤忠弘先生にお願いしました。不確かさについて、わかりやすく説明していただき、今後の放射線管理に役立てていただけるのではないかと思います。

特別講演Ⅱは、「水晶体に関する線量限度の動向と線量の概念について」と題し、原子力安全推進協会の岩井敏先生に講演をお願いしました。先生は、放射線防護で用いる線量の概念をはじめ、眼の水晶体の線量限度やICRP、IAEAの動向について、たいへん詳しくお話しくださいました。

二日目は、ホテルからバスで弊社大洗事業所に移動し、到着後に記念撮影を行いました。下記の写真は、その際に講演会場前にて撮影されたものです。



セミナー参加者の皆様

二日目の講演は、まず、特別講演Ⅲとして「国際放射線防護委員会（ICRP）2007年勧告の国内制度への取り入れについて」と題し、東北大学名誉教授の中村尚司先生にお願いしました。文部科学省の改変に伴い、法律改正の動きが遅れているようですが、以前、先生が会長としてまとめられた放射線審議会による第二次中間報告の内容について、詳しくご紹介いただきました。ICRP2007年勧告については、日頃放射線管理に関わっていらっしゃるお客様にとっては関心が高く、改めて勉強できてよかったとの感想を多くの方よりいただきました。

特別講演Ⅲの後、弊社から「D-シャトル（小型積算線量計）について」、「JCSS校正の概要とその必要性について」、「新型ガラスバッジの紹介」と題する三つの講演をさせていただきました。

すべての講演が終了した後、弊社大洗事業所全体のご紹介、および大洗研究所各照射施設ならびに測定センターの施設見学をいたしました。

また、昼休みおよび見学の合間に、おもに近年開発した製品（D-シャトル、ガンマ・キャッチャー、ラジプローブ、 γ 線防護エプロン、コードレスダストサンブラ、EPD-701）について、展示スペースにて実機による紹介を行いました。講演の際にもご紹介した小型積算線量計「D-シャトル」は、実物を見ていただき、とても軽量であることや、電池寿命の長いことに感心され、好評を得ました。また、ガンマ・キャッチャーは、軽量で小型な装置で、放射性物質の分布状態をイメージ化でき、注目を集めていました。それ以外の機器についても、いずれも、実際の現場で使用できる最新の装置であり、電力会社様および関連企業様、原子力に関する研究所でご活躍されているお客様に興味をもって見ていただきました。

最後に、ご講演を賜りました黒澤先生、岩井先生、中村先生に厚くお礼を申しあげます。

また、お忙しい中、全国からご参加くださいました皆様方に厚くお礼申しあげます。

（狩野 好延）

公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ

★講習会について★ ※○印は計画中（平成26年11月19日現在）

講習名／月	平成27年 1 月	2 月	3 月
登録定期講習	9：東京 23：大阪	9：東京 14：大阪(医) 27：東京	7：東京(医) 11：東京 11：大阪 27：福岡
医療放射線従事者のための放射線障害防止法講習会	24：東京	21：大阪	○：東京

★出版物について★

最新放射線障害防止法令集（平成25年版）、記帳・記録のガイド（2012）、放射線施設の遮蔽計算実務（放射線）データ集、放射線障害防止法に基づく安全管理ガイドブック（2012）等、発売しております。（放射線施設のしゃへい計算実務マニュアルは、現在改訂作業中です。）

★講習・出版物の詳細、お申込みについては、公益財団法人原子力安全技術センターのHPをご参照ください。

URL：http://www.nustec.or.jp/ メールアドレス：kosyu@nustec.or.jp 電話：03-3814-5746

サービス部門からのお願い

測定に無関係なものがまぎれていないかご確認ください！

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

測定依頼でお客様から届いたガラスバッジの中に、まれに測定とは関連のない書類や画鋏、クリップなどが入っていることがございます。このような時は、弊社営業所よりご返却させていただいておりますが、メモ用紙などは誠に勝手ながら処分させていただくことがございます。

測定センターにガラスバッジを測定依頼いただく際は、今一度、測定に無関係なものがまぎれ込んでいないかどうか、ご確認のうえ、お送りくださいますようお願い申し上げます。



編集後記

●今月号の巻頭には、産業技術総合研究所の黒澤忠弘先生より「国内外における放射線防護用X線照射場の線質について」ご執筆いただきました。筆者が福島在住であることから、冒頭の、除染後の地域では放射性Csからの γ 線よりも散乱線成分の線量への寄与が大きくなるのご指摘に、注目しました。Csから出る γ 線が、様々な物質により散乱し、エネルギーを失い弱くなります。散乱線影響が強いエリアでは、除染しても線量率が下がらないので作業成果の実感が得られにくくなる一方、エネルギーが低いと、建材による遮蔽効果が得られやすく、室内線量は下がってくるものと思われます。

●同じく産業技術総合研究所の柚木彰先生より「国際電気標準会議 原子力専門委員会の報告」として、現在進められている国際規格の検討につき、審議の

流れを含めご報告いただきました。規格への準拠は、商品が世界市場に受け入れられるかどうかの瀬戸際では、とても大きな要素になります。その意味で、審議がもたらす影響は大きく、とりまとめには、かなりのご苦労があったものと推察します。

●弊社線量計測技術部の大口より、「眼の水晶体の線量限度変更と動向について」紹介させていただきました。線量計の装着部位につきまして、作業状況により背面装着になる場合がある事にも言及しております。

●昨年10月16・17日に弊社が開催しました「第11回 テクノル技術情報セミナー」の概略を報告しております。全国よりご参集いただきました皆様に厚くお礼申し上げます。

(加藤 毅彦)

FBNews No.458

発行日／平成27年 2月1日

発行人／山口和彦

編集委員／畑崎成昭 佐藤典仁 中村尚司 金子正人 加藤和明 五十嵐仁 加藤毅彦

木名瀬一美 篠崎和佳子 長谷川香織 福田光道 安田豊 山瀬耕司

発行所／株式会社千代田テクノル 線量計測事業本部

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 4階

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)