Photo H. Hirano

Index

マンモグラフィの安全を支える線量計測【1】
～マンモグラフィ用X線の線量標準の確立と標準供給体制の構築～
……田中　隆宏・黒澤　忠弘・齋藤　則生　1

ISMTR-5とASMTR-2に出席して
―放射線利用を推進する―……棚瀬　正和　6

飛躍する大国インドの原子力……町　末男　11

個人モニタリングサービスの歴史（その３）
～ サービスの成長期Ⅰ ～ ……松本　進　12

「第８回 放射線モニタリングに係る国際ワークショップ」が開催されました！
（The 8th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring）……　17

〔サービス部門からのお願い〕
測定依頼票が見当たらないときは…？ ……　19

マンモグラフィの安全を支える線量計測【1】

～マンモグラフィ用X線の線量標準の確立と標準供給体制の構築～

田中　隆宏＊1、黒澤　忠弘＊2、齋藤　則生＊3

1　はじめに

近年の乳がん死亡率の増加に対処するため、乳がんの早期発見が期待される乳房X線検査（マンモグラフィ）が、2000年から我が国の乳がん検診に導入された。導入後、受診者数は増加の一途をたどっており、2009年度には250万人を超え、マンモグラフィは急速に普及しつつある。有効性の高い乳がんの診断には、高品質な診断画像の取得と、優れた読影技術（診断画像から病巣を見逃さずに読み取ること）が要求される。しかし一方で、最低限の適切なX線線量に抑えて撮影を行うことが、マンモグラフィにおける人体への安全性の配慮には欠かせない。このようなマンモグラフィの質の維持・向上を目的とした精度管理等の活動が学会や産業界を中心に行われている。そのような中、関連する学会や産業界から、マンモグラフィのX線線量の評価に対してより一層の信頼性向上が要望された。その理由は、マンモグラフィ用のX線と、線量計の校正に使用されていたこれまでのX線との間でエネルギースペクトル（線質）に大きな違いがあり、両者の線質の間で線量計の感度が変わることが心配されていたためである。そこで、産総研ではこの問題に対応するため、マンモグラフィ用のX線の線質に基づいたX線線量の国家標準の開発とその供給を行うこととした。

計量標準は社会に広く活用されることによって初めて意味をもつが、そのためには、社会的要請（ニーズ）に対して迅速に（タイムリーに）対応することが大切である。放射線の線量標準の開発の標準的な期間は３～５年であるが、この標準の開発では、既存の研究設備と技術を最大限活用することにより、開発の着手から供給開始までを約１年半という短期間で達成した。さらに、現行のマンモグラフィの精度管理体制の中にこの標準を組み込むことにより、迅速かつ広範な標準供給体制の構築に努めた。この論文では、マンモグラフィの精度管理におけるX線線量評価の信頼性の向上を目標として産総研が策定したシナリオから研究開発・成果までの一連の流れを述べる。

2　研究開発の背景

2.1　マンモグラフィの社会的な広がり

近年、女性の乳がんの年齢調整罹患率[用語1]、年齢調整死亡率[用語2]は共に増加の一途をたどっている[1]。乳がんは早期に治療することにより予後の良いがんであるため、早期発見が死亡率低下へとつながる。我が国よりも先に乳がんの問題を抱えていた欧米諸国では、早期発見が期待されるマンモグラフィを乳がん検診に導入し、近年では乳がんの死亡率は低下しつつある[2]。

我が国の乳がん検診においても、これまでの視診・触診に加えてマンモグラフィが2000年より導入されるようになった。2000年のマンモグラフィの乳がん検診への導入の際の厚生省（現、厚生

＊1 Takahiro TANAKA　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　研究員
＊2 Tadahiro KUROSAWA　同　主任研究員
＊3 Norio SAITO　同　量子放射科長

出典：Synthesiology vol. 5 , No. 4 (2012) P. 222～P. 233　独立行政法人産業技術総合研究所（AIST）提供

労働省）からの通達[3]では、受診の対象年齢が50歳以上とされていた（第４次老人保健事業）。2004年にこの通達が改訂され[4]、対象年齢が40歳以上に拡大された（第５次老人保健事業）。2007年にはがん対策基本法が施行され、2008年３月から、がん検診は健康増進法に基づく健康増進事業と位置付けられている。このような、受診の対象年齢の拡大もあり、2000年の導入から受診者数は増加の一途をたどっていて、2009年度の受診者数は250万人を超えるようになった[5]。

２.２　マンモグラフィ用X線の特徴

マンモグラフィを含めたX線診断では、X線源にはX線管球が使用される。X線管球とは、フィラメントから放出される熱電子を高電圧（数kV～数百kV）で加速し、金属板（ターゲット）に衝突させることによってX線を発生させる装置である（フィラメントとターゲット間に印加する高電圧を管電圧という）。X線管球から発生するX線には、ターゲット材と管電圧の組み合わせによっては、制動X線に加えて特性X線が含まれることがある。このX線管球から発生するX線を、純金属のフィルタ（付加フィルタという）に通すことによりエネルギースペクトル（線質）を変化させる。被写体に応じて最適な線質のX線になるように、管電圧、付加フィルタの材質、厚さを変えている。

胸部撮影等の一般X線撮影と比べるとマンモグラフィで使用されるX線には、①低エネルギーであることと、②特性X線を主体としたエネルギースペクトルを有すること、の二つの特徴がある。

まず、X線のエネルギーについては、一般X線撮影では管電圧が80kV程度であるのに対して、マンモグラフィでは30kV程度である。X線のエネルギーが低いほど、乳房組織と病巣の線減弱係数[用語3]の差が大きくなるため、コントラストのある画像取得には低エネルギーX線が必要となる。しかし、X線のエネルギーが低くなりすぎると、皮膚によるX線の吸収が大きくなってしまうため、線量と画質を両立した管電圧が30kV程度のエネルギーのX線がマンモグラフィでは利用される。この30～80kV程度の管電圧の領域では、X線のエネルギーが低くなるほど物質（線量計の材料のみならず空気等も含む）による単位長さ当たりの吸収量が大きくなり、高精度な線量計測を難しくする一つの要因となっている。

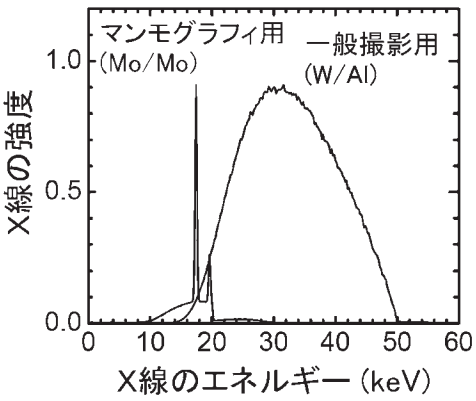


図１　マンモグラフィ用（Mo/Mo）と一般撮影用（W/Al）のX線スペクトルの例

もう一つのマンモグラフィ用X線の特徴として、エネルギースペクトルが挙げられる。一般X線撮影でのX線管のターゲット材にはタングステンが使用されているのに対して、低エネルギー領域のX線を利用するマンモグラフィでは主にモリブデンが使用される。使用する管電圧が30kVとモリブデンのK殻のイオン化エネルギーに近いため、特性X線が多く放射される。マンモグラフィでは、モリブデンターゲットのX線管球と、モリブデンの付加フィルタが使用され（以下、ターゲット材／付加フィルタ材とし、Mo/Moのように元素記号で表記）、その結果、**図１**に示すような特性X線を多く含むエネルギースペクトルとなる。Moの付加フィルタを用いることにより、特性X線のエネルギー近傍のX線がカットされ、より単色性の強いエネルギースペクトルとなる。特性X線よりも低いエネルギー成分は皮膚による吸収を、高いエネルギー成分については画像のコントラストの低下を、それぞれ招くため、このような工夫がなされている。

以上のように、マンモグラフィでは特性X線を多く含む低エネルギーのX線が使われるという特徴がある。

２.３　マンモグラフィにおける線量評価

胸部撮影に代表される一般X線撮影における線量評価では、皮膚吸収線量が用いられる。一方、マンモグラフィでは、

- 乳房に対してのみ局所的にX線が照射されること
- 乳房組織において、乳腺組織が放射線に最も脆弱であるとされていること

図２　マンモグラフィ装置の線量評価における線量計の設置例

ファントムの厚みの分だけ、線量計の基準面を乳房支持台から浮かせており、写真中では電離箱式線量計のみ設置。

・使用するX線のエネルギーが低いため単位長さ当たりの吸収量が大きく、乳房内で線量が急速に変化すること

等を理由に、平均乳腺線量という特別な線量により評価されている。この平均乳腺線量とは乳腺組織の単位質量あたりの吸収線量であり、乳房組織内の全乳腺組織に吸収されるX線のエネルギーを、乳腺組織の全質量で除した値として定義される。国際単位系ではJ/kgが単位であるが、特別な名称の単位Gy（グレイ）が割り当てられている。平均乳腺線量は、乳房中の深さ方向（X線源から受像素子への方向（**図２**）に対して不均一な乳腺の吸収線量を代表する線量である。ただし、平均乳腺線量は、乳房中の乳腺の量（割合）や分布、乳房の圧迫厚によって値は変わる。そのため、マンモグラフィの精度管理では、乳腺組織と脂肪組織の質量比が１：１の割合で均一に混合した厚さ45mm（42mm厚の場合もある）の乳房を標準乳房とし、この標準乳房に対する平均乳腺線量を評価している[6][7]。関連学会等では、この平均乳腺線量に対してガイダンスレベル（または低減目標値）を設け、線量の適正化（低減化）が図られている。

この平均乳腺線量は実測が極めて難しい量であり、精度管理においては、関連学会等が推奨する標準乳房を模擬した物質（ファントム）を利用して評価される。**図２**にマンモグラフィ装置を使った平均乳腺線量の評価の様子を示す。

線量計の基準面がファントムの表面と一致するように線量計を設置し、ファントムの表面（X線源側）に入射するX線の線量を測定する。ただし、この時に線量計で測定される線量は「空気カーマ」[用語4]と呼ばれる単位で測定されるため、空気カーマから平均乳腺線量への変換係数が必要となる。この変換係数はモンテカルロ計算により算出されており、X線の線質ごとの数表として精度管理マニュアル等に掲載されている[6][7]。そのため、平均乳腺線量の評価には、マンモグラフィ装置からのX線の線質の評価も必要となる。ただし、エネルギースペクトルを医療現場で直接測定することは、手間やコストを考慮すると現実的でない。そのため、マンモグラフィの線質は、空気カーマの量を半減するのに必要な物質（マンモグラフィではアルミニウム）の厚さによって表現される。線質を表すこの物質の厚さを半価層という。以上のように、平均乳腺線量の評価には、線量（空気カーマ）と線質（半価層）を線量計によって測定することが必要不可欠となる。

２.４　マンモグラフィ用線量計の現状

線量計には測定原理の異なるさまざまな種類が存在する。マンモグラフィの医療現場では、電離箱式線量計と、半導体式線量計の２種類が主に利用されている。電離箱式線量計は、X線と空気との相互作用によって生じた電離量（イオン－電子対）の測定を基礎とした線量計である。マンモグラフィでは診断用X線の中でもエネルギーの低い（物質による吸収が大きい）X線が利用される。そのため、マンモグラフィ用X線の電離箱式線量計では、X線入射面は透過性の高い薄膜（主に金属蒸着した樹脂）が用いられる。電離箱式線量計は、空気カーマの定義に近い測定ができるため、二次標準線量計として使用される。一方、使用する温度や気圧等の環境条件によって放射線有感体積中の空気の質量が変化するため、環境条件に応じた補正が必要となる。また、X線の入射面に薄膜を使用していることから、取り扱いに注意が必要となることに加え、薄膜によるX線の吸収が生じ、X線のエネルギーが低いほど、線量計の感度がX線のエネルギーに依存して変化しやすくなる。

半導体式線量計では主にシリコンが活用され、

pn接合（逆バイアス電圧を印加）による空乏層を放射線に対する有感層として作用させる線量計である（pin型もあり、その場合は、真性半導体層（i層）が放射線に対する有感層として作用する）。電離箱式線量計では電離電流のキャリアが電子－イオン対であるのに対して半導体式線量計では電子－正孔対となり、半導体式線量計は固体の電離箱と例えられる。半導体式線量計は、電離箱式線量計と比べると堅牢性に優れ、温度・気圧の補正が不要等取り扱いの簡便性に優れているため、医療現場での線量評価に多く使われている。しかし、表層のSiO_2層や不感層等によるX線の吸収が大きいため、マンモグラフィ用X線のような低エネルギー領域では感度がX線のエネルギーに大きく依存することが知られている。

電離箱式線量計、半導体式線量計ともに、マンモグラフィX線（もしくは低エネルギーX線）用のものが開発されているが、線量計の構造上、感度のエネルギー依存性（以下、エネルギー特性という）は避けられない。そのため、医療現場等で実際に測定するX線のエネルギー領域において、正確に値が測定されているX線の標準場を用いて線量計を校正することが学会等からは推奨されている。

２.５　国際的な動向

欧米諸国では我が国よりも早くから乳がんの問題に直面していたため、精度管理体系の構築も我が国よりも早くから始まっていた。アメリカでは1986年に米国放射線専門医会（American College of Radiology; ACR）がマンモグラフィの精度基準を作成したことを契機に、精度管理が進められた。その後、1992年にはマンモグラフィ品質標準法（Mammography Quality Standard Act; MQSA）が連邦法として成立し、マンモグラフィ検査は法制化されている[8]。この法律によって、マンモグラフィ検査を行うすべての施設が、米国食品医薬品局（Food and Drug Administration; FDA）が承認した検査機関（ACRや州政府等）の認定を受けた上で、FDAによる医療監査と認可を受けることが義務付けられている。この法律の中では、線量計の校正は２年に一度行うことが義務付けられており、国家標準へのトレーサビリティを担保することも明記されている。アメリカの国家標準を担っている国立標準技術研究所（National Institute of Standards and Technology; NIST）は、Mo/Mo線質によるマンモグラフィの線量標準の供給を行っている。ACRによって発刊された精度管理マニュアル[9]は、我が国の精度管理マニュアルを作成する際の基礎となっている。

欧州では、マンモグラフィの品質管理について、European Reference Organization for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services（EUREF）が中心となって、ガイドラインが作成されている[10]。このガイドラインでは、線量測定は６カ月に一度行うこととされている。このガイドラインを基に、欧州各国ではそれぞれの方法で精度管理が実施されている。ドイツやイギリス等を中心にMo/Mo線質による線量標準が供給されている。しかし、欧州内においてマンモグラフィ用の線量計の校正をW/Al線質によって実施している国や機関も多く、線質の違いが校正結果に影響を与えることが懸念されていた。そのため、欧州計量標準協力機構（European Collaboration in Measurement Standards; EUROMET）に所属する国および機関の中で、マンモグラフィの線量計の校正に関する国際比較が行われた。

この国際比較では、複数の電離箱式線量計と半導体式線量計を巡回させ、各国もしくは各機関が校正に使用している線質（Mo/MoやW/Al等を問わず）で校正し、その校正結果が比較された。その結果、マンモグラフィ用（軟X線用）の電離箱式線量計のようなエネルギー特性が小さい線量計については、線質の違いによる校正結果の影響は、現場での線量測定に対して大きな問題にはならないという結論であった。しかし、半導体式線量計のようなエネルギー特性の大きい線量計については、Mo/Mo等のマンモグラフィ用X線の線質に近い条件で校正することが望ましいと結論付けられた[11]。

このような流れの中、国際度量衡局（International Bureau of Weights and Measures）に対して、Mo/Mo線質に準じたマンモグラフィ用の線量標準をもつよう、国際度量衡委員会放射線諮問委員会に参加する各国から要望が上がった。これを受け、国際度量衡局では、Mo/Mo線質によるマンモグラフィ用X線の校正場を整備

し、2009年から国際度量衡局を幹事機関とした基幹国際比較が実施されるようになった[12]。

2.6　マンモグラフィ用線量標準への社会的要請

マンモグラフィのような低エネルギーX線では、線量計（電離箱式線量計、半導体式線量計ともに）のエネルギー特性が大きいため、日本では、医療現場で測定するX線に近いエネルギーで校正することが学会等から推奨されてきた。これまでは、マンモグラフィのエネルギー領域のX線の線量標準は、W/Al線質で供給を行ってきた。産総研で保管している電離箱式線量計のエネルギー特性を**図3**に示す（産総研のW/Al線質の軟X線標準の半価層の範囲）。

比較的エネルギー特性の小さいとされる電離箱式線量計についても、マンモグラフィで使用されるX線のエネルギー領域では感度（校正定数）の変化が、図3でデータごとの縦棒で表した校正の不確かさ（95%の信頼区間）よりも大きく、また、変化の様子が線量計の型式によって異なることが分かる。この違いは、線量計のX線入射面の材質および厚み、また、線量計内部の構造の違いに起因している。医療現場では、エネルギー特性が電離箱式線量計よりも大きい半導体式線量計が多く使われていることから、このような線質の違いによる校正結果への影響を心配する声が、国内の産業界・学会から挙げられるようになった。この問題に対応するため、産総研ではマンモグラフィのX線の線質に基づいた線量標準の整備・供給に着手した。

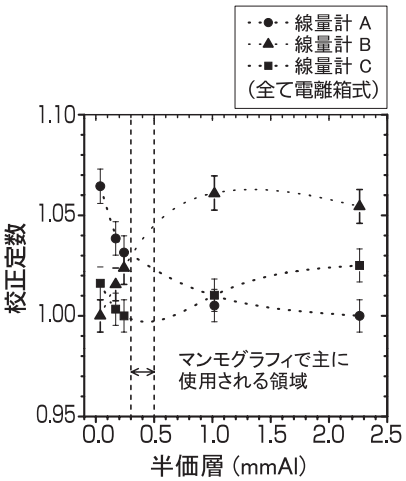


図3　電離箱式線量計のエネルギー特性の例

用語解説

用語1：年齢調整罹患率：基準となる人口の年齢構成（昭和60年人口モデル）を考慮して補正した罹患率で、年齢構成の著しく異なる群間の比較を可能にする。

用語2：年齢調整死亡率：基準となる人口の年齢構成（昭和60年人口モデル）を考慮して補正した死亡率で、年齢構成の著しく異なる群間の比較を可能にする。

用語3：線減弱係数：強度 I_0 の単一エネルギーの光子が一様な物質に入射して透過する際、透過する光子の強度 I は、物質の厚さ d（cm）とともに

$$I = I_0 \times e^{-\mu d}$$

のように指数関数的に減少する。この係数 μ（cm^{-1}）を線減弱係数という。

用語4：空気カーマ：非荷電粒子線の相互作用によって単位質量あたりの空気から発生した二次荷電粒子線の各発生時点での運動エネルギーの総和。SI単位系では、J/kgと表されるが、特別な単位Gy（グレイ）が用いられる。

参考文献

［1］独立行政法人国立がん研究センターがん対策情報センター：http://ganjoho.jp/public/statistics/pub/statistics02.html#prg3_1

［2］WHO死亡統計データベース：http: //www.who.int/healthinfo/morttables/en/

［3］厚生省老人保健福祉局老人保健課長:「がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針」の一部改正について、老健第65号通達、2000年3月.

［4］厚生労働省老健局老人保健課長：「がん予防重点健康教育及びがん検診実施のための指針」の一部改定について、老老発第0427001号通達、2004年4月.

［5］地域保健・健康増進事業報告（厚生労働省 人口動態・保健統計課保健統計室）http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/eStatTopPortal.do

［6］日本放射線技術学会放射線撮影分科会乳房撮影ガイドライン普及班、*放射線医療技術学叢書（14-3）乳房撮影精度管理マニュアル（改訂版）*、放射線技術学会、（2004）.

［7］NPO法人 マンモグラフィ検診精度管理中央委員会、*デジタルマンモグラフィ精度管理マニュアル*、医学書院、（2009）.

［8］Mammography Quality Standard Act.

［9］Committee on Quality Assurance in Mammography, American College of Radiology: *Mammography Quality Control Manual 1999*, American College of Radiology, USA（1999）.

［10］European Commission: *European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis, Fourth Edition*, European Communities, Luxembourg（2006）.

［11］J. Witzani , H. Bjerke, F. Bochud, I. Csete, M. Denoziere, W. de Vries, K. Ennow, J. E. Grindborg, C. Hourdakis, A. Kosunen, H. M. Kramer, F. Pernicka and T. Sander: Calibration of dosemeters used in mammography with different x ray qualities: EUROMET Project No. 526, *Radiation Protection Dosimetry*, 108, 33-45（2004）.

［12］C. Kessler, P Roger and D. T. Burns: Establishment of reference radiation qualities for mammography, *Rapport* BIPM 2010/01（2010）.

ISMTR-5とASMTR-2に出席して
—放射線利用を推進するー

棚瀬　正和*

20数年ぶりに米国とタイに行くことになった。照射試験炉(研究炉を含む。以下試験炉)に関する2つの国際会議、ISMTR-5（5th International Symposium on Material Testing Reactors）とASMTR-2（2nd Asian Symposium on Material Testing Reactors）に出席するため、まずISMTR-5の会場のある米国、ミズーリ州、コロンビアに向かった。途中、スーツケースが行方不明になったが、翌朝ホテルに届いた。そのホテルで会議が4日間行われた。その後、日本に戻り、翌日タイのバンコックに向かった。バンコックのタイ原子力技術研究所で2日間、ASMTR-2が開催された。両国際会議の様子（概要）や会議後の印象を述べる。

Ⅰ．ISMTR-5

この会議の目的は、各国の試験炉の現状と将来計画などについての情報交換を通じ、各炉が持っている課題を解決し、照射利用の拡大を図ることである。

この会議は毎年開催されており、今回は

写真１　ISMTR-５の参加者

＊ Masakazu TANASE　弊社大洗研究所　アドバイザー

５回目である。参加者は、主催国の米国が26名と多く、日本８名、韓国４名、南アフリカ２名、オーストラリア、オーストリア、スウェーデン、アルゼンチン、各１名と合計44名であった（**写真１**）。

セッション１

試験炉の現状と将来計画

日本原子力研究開発機構（JAEA）のJMTR（Japan Materials Testing Reactor）では、４年を掛けた改修を終え、今年度の運転を期待していること、チリでは、^{99}Moの製造をLEU（Low Enriched Uranium：低濃縮ウラン）で行っていること、韓国のHANARO炉では、NTD（Neutron Transmutation Doping：中性子核変換ドーピング）利用が増加して、12インチのシリコン照射を目指しているということなど、興味ある話を聞くことができた。

セッション２

照射試験と照射後試験の進展

JMTRでは、３種類のBe反射材の炉外試験、JRR-3（Japan Research Reactor-3）での炉内照射を終え、照射後試験に移る予定でいること、また、オーストラリアのOPAL炉では、^{99}MoをLEUのターゲットを利用して製造していること、また、HANARO炉では、100℃以下の低温での原子炉材料の照射試験が実施されていることなどの発表があった。

セッション３

経年管理

南アフリカのSAFARI-1炉では、燃料配置や水路システムについての経年対策を実施していること、IAEA（International Atomic Energy Agency：国際原子力機関）からは、世界の試験炉の50%以上は45年を超えており原子炉構造材や材料の照射データの更新の必要性があることが述べられた。

セッション４

安全評価と燃料転換

米国のMITR炉は、原子炉の低濃縮ウラン燃料への転換のための安全解析が行われ、30%少ない燃料要素で現状より１MW高い７MWでの運転ができるようだ。また、米国のMURR炉（10MW）でも同様に12MWでの運転が可能であること、制御棒位置を改良することにより、より良い運転が可能であることなどが示された。ここで発表されている燃料ウランの低濃縮化の議論は、日本ではすでに終了しており、米国ではかなり遅れているという印象を持った。

セッション５

産業利用の拡大

JMTRを利用した^{99}Mo－^{99m}Tcの国産化についての講演が４件続いた。高密度のMoO_3ペレットの製作、ペレットの溶解、^{99}Mo/^{99m}Tcからの^{99m}Tcの分離・精製、さらに、Moのリサイクル利用についての試験が行われ、それぞれ、良好な結果を示したことが述べられた。

セッション６

施設の改修と高度化

MURR炉では、研究炉の冷却塔の交換を終え、高度化を図るための圧力容器付属の安全装置、電気系統や遮蔽の設計などについての報告があった。

セッション７

装置、シミュレータの開発

JAEAでは、JMTRをモデルとして、原子炉の状態を示すシミュレータを開発した。また、福島第一原子力発電所の事故を受け、LWR（Light Water Reactor：軽水炉）の事故時でも安全系の測定ができるような汎用機器を開発していることなどが報告された。

セッション８

まとめ

この会議を通じ、世界の試験炉間の連携を図りつつ、原子炉燃料や材料の照射試験、大学等の基礎研究や^{99}MoなどのRI製造、人材育成などにおいて、試験炉を今後も、積極的に活用していくことが確認された。その中で、^{99}Moの製造技術開発においては、MoO_3の照射を国際的なネットワークを通じて実施していくことなどが承認された。また、次回（第６回）はアルゼンチンで開催することに決まった。

□■□ 会議の印象 □■□

この会議を終わり、次のような印象を持った。この会議は、試験炉間のネットワークを通じ、活発な利用を促すものであり、福島の事故後は、その役割も変化しているようにも感じた。試験炉による（n, γ）反応を用いて^{99}Moを大量に得ようとしているグループは、それほど多くはないが、米国は、かなりの重要度を持って、この方法の推進に向かっており、我々にとって大きな励みになった。工程は異なるが、その開発の現状も把握することができ、一部で協力の兆しが見えてきた。今後、互いの情報交換ができるかもしれない。

Ⅱ．ASMTR-2

この会議は、アジア各国の照射試験炉の現状と将来計画などについての情報交換を通じ、各炉が持っている課題を解決し、照射利用の拡大を図ることを目的としている。タイ原子力技術研究所（TINT）が主催、JAEAが共催し、タイの原子炉：TRR-1/M1の運転50周年を記念する行事の一環として開催された。

参加者として、アジア諸国にアルゼンチンが加わり、開催国タイ15名、日本11名、韓国２名、マレーシア、インドネシア、アルゼンチン各１名であった。

セッション１－１

試験炉の現状と将来計画(1)

JMTRでは、新しい照射設備、照射後試験設備が整えられ、軽水炉の安全技術開発などの研究開発、産業利用として^{99}Moの製造技術開発などを実施していること、インドネシアのMPR-30炉では低濃縮^{235}U からの（n, f）^{99}Moの製造技術開発などが行われていること、タイ原子炉（TRR-1/M1）では、原子炉燃料（TRIGA燃料）が新規に供給されない状況である一方、新しい研究炉構想があることなどについての講演があった。

セッション１－２

試験炉の現状と将来計画(2)

京大のKUR炉では、HEU（高濃縮ウラン）からLEUへの転換は、2010年に終了し、各種の研究や、最近ではBNCT（Boron Neutron Capture Therapy：ホウ素中性子捕捉療法）が多く行われている。また、“はやぶさ”が持ち帰った“イトカワ”の試料の放射化分析は

ここで行われた。東北大学金属研究所の大洗支所やJMTRでは、原子力分野の世界的な発展に必要な人材養成をするため、外国の若い研究者や技術者と交流を図っていること、また、韓国のHANAROでは、ヨルダンへの試験炉の輸出が決まり、そのために必要な照射試験を実施していくことなどについての発表があった。

セッション２－１

照射応用（1）

照射技術を利用した基礎的な分野の発表があった。京大では、KUR炉を使った炉物理実験コースで、原子力に関連しない学生も受講できるコースを新たに始めている。東工大は、核燃料サイクルと廃棄物処理の分離プロセスで、新たに抽出クロマト剤を開発し、アクチノイドとランタノイドを温度変化だけで分離する新しい方法を提案した。

セッション２－２

照射応用（2）

応用的な照射利用については、JMTRの照射利用の拡大を図るため、^{99}Moの製造技術開発を進めていること、JMTR-HL（ホットラボ）施設では、各種試験に必要な高度の施設が文科省のプロジェクトとして順次整えられていること、HANARO炉では、原子炉材料の中性子科学研究において、SANS（Small Angle Neutron Scattering）技術によるナノサイズの研究が可能となっていることなどが報告された。

セッション３－１

安全技術（1）

タイ（OAP）からは、2020年までの原子力発電所の建設計画があったが、福島の事故により、その計画は６年間延期されたことなどが報告された。東大からは、原子炉で放射化した材料の放射線管理と廃棄物管理についてと、日本における安全管理と廃棄物処理施設の日本の規制と現状についての報告があった。

セッション３－２

安全技術（2）

JAEAから、原子炉の、水面の位置や放射線量、原子炉炉心の状態を知るためのチェレンコフ光の分析などに関する開発について報告があった。また、JAEAらが開発した、管理区域内で作業する人のその場の放射線量などがリアルタイムで把握できる先進の安全管理システムが紹介され、福島第一原子力発電所周辺の作業者にも使うことができるということであった。タイ（TINT）でも、同様、研究炉プール周辺で働く人の放射線量の評価手法を開発している。

セッション４

パネルディスカッション

タイ、マレーシア、インドネシア、日本、韓国から、各国の人材育成に関する現在のプログラムについての紹介があった。その中で、お互いの協力関係を確認した。また、標準照射場による照射技術の確立や（n, γ）^{99}Moの製造技術開発でも、それぞれの関係国とともに協力して実施していくこととなった。この会議は、来年はインドネシアで開催されることが決まった。

□■□ 会議の印象とチェレンコフ光 □■□

この会議を通じ、アジア各国の試験炉の役割は、福島事故により変化し、ある意味で重

要性が増したようにも感じた。原子炉燃料の照射試験に加え、人材育成への利用、さらには、^{99}Mo製造などの産業利用への取り組みなどの強化が必要となっている。特に、^{99}Mo製造などは、医療への貢献度が高い分野であり、海外の協力も得ながらより一層精進する必要があると思った。

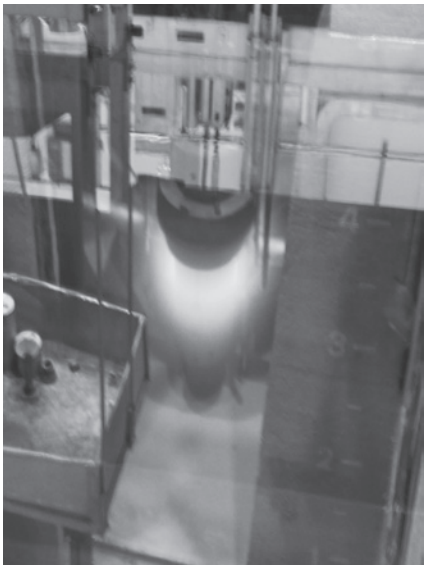


写真２　タイ原子炉のチェレンコフ光

また、ISMTR-5とこの国際会議の両方の施設見学の際に、久しぶりにチェレンコフ光を見る機会を得た（**写真２**）。このチェレンコフ光についての雑感を述べる。私は、原子力の世界に入って、いろいろなものを目にしてきたが、このチェレンコフ光がこの世界で最も美しいものだと思っている。その思いをこの会議の参加者に何気なく話した。彼も同じ思いで、自分が働いている原子炉施設で見られるチェレンコフ光が世界で最も美しいのではないかと言い、所持していたその写真を見せてくれた。炉心の上部に何もなく、直接、水中の炉心周辺から発する白色に近い青色の光で、非常に美しいものであった。彼は、そのスペクトルを測っているということであった。一方、この会議では、別の研究者が、このスペクトルから、燃料の状態を知ることができ、その燃料の診断ができる装置を開発中であると報告していた。美しいという興味から、深く考えれば有用な科学研究に結び付くものの例かも知れないと感じた。

Ⅲ．２つの国際会議を終えて
－放射線利用の一層の推進を－

一昨年３月11日の東日本大震災によって起こった福島第一原子力発電所の事故は、我々が関与する原子力利用の在り方に大きな影響を及ぼしている。すなわち、原子力利用の内、エネルギー利用については、現在、大飯原子力発電所３、４号機のみが稼働している状況である。原子力規制委員会も昨年９月に発足し、新たな段階に入っている。しかし、今後も原子力発電所の運転が次々と認められる可能性は低い。運転再開のハードルも高くなることが想定される。そのような状況にあって、原子力利用のもう一方の役割である放射線利用の開発について少し考えてみたい。平成17年度の調査だが、原子力発電の電気料金の総和がほとんどを占めるエネルギー利用の経済規模と放射線利用のそれの相対割合は54%、46%であるという報告書が出ている。事故以前まで同じ状況が続いていたと思われる。このような中、放射線利用、すなわち、JMTRなどの試験炉を使った多量の中性子を利用する分野での活動である、各種の照射試験、産業利用の拡大などが、今回の２つの国際会議で期待されていた。その会議の中で、^{99}Mo/^{99m}Tcの製造に関する技術開発についても大きな話題の１つであった。このような放射線利用に関わる開発を進めつつ、近い将来、復活するであろうエネルギー利用を待ちたいと思っている。

飛躍する大国インドの原子力

元・原子力委員　町　　末　男

チダンバラン博士との交友

昨年（2012年）12月に20年来の旧知で敬愛するインドの元・原子力委員長であるチダンバラン博士が来日し、夕食を共にして旧交を温めることができた。

チダンバラン博士は核物理の研究者でインドの原子力研究所（BARC）の所長から、原子力委員長となり、現在はインド政府の科学技術顧問として首相を補佐する重要な役割を担っている。

筆者がIAEAの事務次長の時代はインド政府の代表としてIAEA理事会の議長を務めたこともある。原子力平和利用、特に研究開発推進におけるIAEAの役割の重要性を強調されたので、筆者の担当していた原子力科学応用局はとくに関係が深かった。

左がチダンバラン博士、右は筆者（12年12月）

インドの発展に原子力エネルギーは不可欠

チダンバラン博士によれば、インド国民一人当たりの年間の電力の消費量は僅かに700kWh程度で先進国の10,000kWhの14分の１であるという。博士はインドの産業を発展させ、11億人の国民の生活レベルを先進国並みに高めるためには莫大なエネルギーが必要であり、これをまかなうのには現実的に原子力エネルギーは不可欠であると強調している。

インドは最初カナダから発電炉を輸入したが、その後ほとんど自力で開発を進めてきた。現在は運転中原子力発電プラント20基（440万kW）：建設中７基（530万kW）で、今後2032年までに6,300万kW（総発電設備容量の９％）にするという野心的な計画であるという。

更に、チダンバラン博士は原子力エネルギーが持続可能であるためには、核燃料サイクルは不可欠であるといっており、その政策に基づいて高速増殖炉原型炉（50万kWe）を建設し、2013年運転開始を予定している。この一貫した政策はこれまでの日本の原子力政策と一致する重要なものである。ウランを一回原子炉で燃しただけで、処分すれば、その埋蔵量から考えると、100年足らずで使い尽くしてしまう。リサイクルして再利用することによって数千年の利用が可能になり、はじめて持続的なエネルギーになるのである。

原子力発電プラントの安全性の確認

勿論、インドは安全を最も重視しており、福島原子力事故後六つのタスクフォースを設置して運転中、建設中のプラントを検査した結果、現有の原発は異常な自然事象に対しても、十分な耐性の余裕度がある事を確認したという。また、IAEAに要請してRAPS の3, 4号機についてOSART（Operation Safety Review Team）によるピアレビューを12年11月に行い、地震、津波などの極端な事象に対して安全であることを国際的にも確認している。

日本との協力に期待

インドは核不拡散条約に署名していないことから、日本は原子力協力協定を結んでいない。しかし米国はインドが発展のために原子力発電を強く必要としている事、今後核実験を行わないことを約束している事から、協力協定を結んだ。日本は協力に向けて現在前向きに話し合いを進めている。チダンバラン博士はインド国民が少しでも「豊かな生活を手にするために必要な電力」を生産するために、優れた原子力技術を持つ日本の協力を期待すると述べている。

（2013年１月５日稿）

個人モニタリングサービスの歴史（その3）

～ サービスの成長期Ⅰ ～

松本　　進*

まえがき（前号までの概要）

戦後の昭和25年、わが国では放射性同位元素（RI）の使用が開始された。これを契機に放射線防護の機運が盛り上がり、昭和30年代に放射線管理関係の法令が整備された。非破壊検査グループは昭和29年12月から、日本保安用品協会は昭和31年７月から、それぞれフィルムバッジサービスを立ち上げたが、最終的には日本保安用品協会に集約された。

７．初期の被ばく線量（昭和33年）

荒川昌は、セイフティ･ダイジェストおよび日本放射線技術学会において、フィルムバッジの測定結果を公表しているが、昭和34年のセイフティ･ダイジェストには「放射線従事者被曝線量の測定結果」[22]と題して発表している。これはわが国最初の職業人の被ばく統計であろう。その要点を次に紹介する。

7.1 「放射線従事者被曝線量の測定結果」の要点

当時使用したバッジケースはJIS[*1]に適合したX線用（島津製または東芝製）とγ線用（千代田製）を使用（**図15**）。バッジフィルムは、JIS[*2]に適合した富士フイルム社製、小西六社製を使用。線量測定は、JIS[*3]に規定された取扱方法によった。線量の測定範囲は、30mR以下、30～1800mR（この間10mRステップ）、1800mR以上。フィルムバッジの使用期間は２週間である。

図15　X線用とγ線用フイルムバッジ

＊１）JIS Z 4301　X線用フィルムバッジケース
　　JIS Z 4302　γ線用及び硬X線用フィルムバッジケース
＊２）JIS K 7557　X線用バッジフィルム
　　JIS K 7559　γ線及び硬X線用バッジフィルム
＊３）JIS Z 4502　X線用フィルムバッジの取扱方法
　　JIS Z 4503　γ線及び硬X線用フィルムバッジの取扱方法

集計は、昭和33年１月から同年12月までの１年間の測定結果である。その対象はX線関係では事業所数238件、人数1884名（医療1202名、工業682名）、γ線関係では事業所数67件、人数301名（医療82名、工業219名）。

放射線取扱従事者の２週間毎の被ばく線量を**表４**に示す。なお、A～Eは医療施設を示す。B施設は２名の術者がいる。被ばくは一定量の繰返しでなく不同である。**表５**は作業量と被ばく量の関係を示す。作業量と被ばく量との関係は不同である。**表６**には施設の防護レベルの違いと被ばく分布の関係を示す。レベルの高い施設では多量被ばく者の比率は低い。

表７、**表８**にはX線従事者とγ線従事者の被ばく分布を示す。昭和33年の上半期、下半期、年間を連続してフィルムバッジを装着した人を区分けして集計している。（後省略）

表４　被曝量の実際（１例）
(mr/2W)

回＼所	A	B		C	D	E
1	30*	30*	70	30*	140	30*
2	480	30*	1,430	290	190	1,800**
3	30*	50	440	710	170	1,800**
4	560	80	30*	30*	30*	30*
5	30*	300	450	30*	30*	70
6	465	180	30*	300	1,070	30*
7	580	30*	〃	260	30*	30*
8	30*	30*	〃	30*	160	1,200
9	30*	150	400	510	30*	30*
10	480	200	30*	30*	30*	1,080
11	520	30*	170	470	120	30*
12	30*	30*	30*	230	210	840

注 30* は30以下，1,800** は1,800以上を示す．

＊ Susumu MATSUMOTO　弊社アドバイザー

荒川は、結語として次のように表記している。

結語（略）フイルム・バッジ・サービスを受けていない幾多の事業所の放射線作業者のすべても、本集計結果と同様な被ばく線量範囲にある、とすることは危険な推理であるといわねばなるまい。この報告が放射線作業者の今後の放射線障害対策の参考の一助にもなれば幸いである。

要点の紹介は以上のとおりである。

7.2　平均被ばく線量の推定

表７、表８から、次の手法で昭和33年当時の平均被ばく線量の推定を試みた。

平成元年被ばく線量分布[23]をモデルとし、各線量区間の総線量を求め、X線とγ線の昭和33年上期と下期を合算し、昭和33年６ヵ月線量集計（**表９**）とした。また年間線量を昭和33年12ヵ月線量集計（**表10**）とした。

６ヵ月線量合計の２倍値を12ヵ月線量と合算し、１人当たりの平均値を算出した（**表11**）。昭和33年当時、フィルムバッジ装着者の平均年間被ばく線量の推定値は568mR（約5.7mSv）であることが分った。平成元年の平均年線量当量(0.21mSv)と比較すると約30倍である。

表５　作業量と被曝線量との関係
（東京都保健所）

事業所	従業者氏名	被曝線量 mr/2w	X線写真撮影枚数 直接撮影	X線写真撮影枚数 間接撮影
A保健所	○舎　八○	40	235枚	1,108枚
	○本　○郎	100		
B保健所	佐○○	30以下	159	506
	吉○○	90		
C保健所	○木　○雄	30以下	0	914
	○名○	50	47	1,120
D保健所	平○　○男	1,210	300	1,631
	下○　○一	30以下		
E保健所	○田　○左	30以下	27	270
	○合宏	90		
F保健所	○中○	490	48	921
	○橋○	950		

表６　防護設備と被曝分布
（神奈川県衛生部調より）

mr/w	防護設備	A級	%	B級	%	計	%
許容量を越えているもの	510以上	2	2.02	1	7.14	3	2.65
	310～500	1	1.01	0	0	1	0.89
許容量以下のもの	110～300	12	12.12	6	42.86	18	15.93
	100以下	84	84.85	7	50	91	80.53
計		99		14		113	

（注）　A級とは操作室，防護衝立，防護箱，防護イス車の内の一つ以上を有し，他に３種類以上の防護設備を有するもの．
B級とはA級ほど充分な防護設備を有しないもの．
A級とB級を比較してみると許容量を越えているものはAにおいて３％，Bにおいて７％となつており，いかに防護設備が重要であるかが判明するが，防護設備が完全であつても，なおかつ防ぎ得ない被曝があることも注目しなければならないことである．

表７　長時間連続X線フィルムバッジサービスを受けている作業者の被曝線量

積算被曝照射線量	昭和33年1月～6月 26週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%	昭和33年7月～12月 26週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%	昭和33年1月～12月 52週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%
390mr 以下	232	83.2	326	54.6	239	78.6	245	52.9				
600mr 〃	26	9.3	175	29.3	40	13.2	134	28.9				
800mr 〃	6	2.2	29	4.9	6	2.0	31	6.7	171	75.0	189	49.3
1 r 〃	3	1.1	20	3.35	4	1.3	15	3.2	30	13.2	85	21.6
1.5 r 〃	1	0.3	22	3.7	7	2.3	20	4.3	11	4.8	68	17.3
2 r 〃	3	1.1	6	1.0	2	0.6	6	1.3	6	2.6	19	4.7
2.5 r 〃	8	2.8	12	2.1	6	2.0	5	1.1	8	3.5	8	2.0
◎ 3 r 〃	—	—	1	0.15	—	—	—	—	2	0.9	9	2.3
3.5 r 〃	—	—	2	0.3	—	—	3	0.65	—	—	4	1.0
4 r 〃	—	—	2	0.3	—	—	2	0.47	—	—	2	0.5
4.5 r 〃	—	—	2	0.3	—	—	2	0.47	—	—	2	0.5
◎ 5 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 r 以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	1.0
合計	279		597		304		463		228		392	

（注）　この表における積算線量の表示のし方は，30mr/2w 以不のものに関しては，一応 30 mr として積算した．故に 390mr 以下で表示される線量は 30mr×13回（26週）＝390mr（以下）で，正しくは如何なる週も 30mr 以下を表示することが正しいと思われる．したがつて600mr以下については 30 mr 以下が 12 回あつて１回のみが 200 mr の被曝を受けた場合等の色々なファクターがある事を御了承願いたい．

表８　長時間連続γ線フィルムバッジサービスを受けている作業者の被曝線量

積算被曝照射線量	昭和33年1月～6月 26週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%	その他 人員	%	昭和33年7月～12月 26週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%	その他 人員	%	昭和33年1月～12月 52週間 工業関係 人員	%	医療関係 人員	%	その他 人員	%
390mr 以下	72	74.2	30	45.5	111	83.5	75	70.1	30	44.8	107	78.7						
600mr 〃	14	14.4	18	27.3	9	6.8	20	18.7	22	32.8	16	11.8						
800mr 〃	6	6.2	7	10.6	5	3.8	8	7.5	5	7.5	10	7.4	53	63.7	27	45.0	78	70.3
1 r 〃	1	1.05	4	6.1	4	3.0	1	0.9	5	7.5	3	2.1	11	12.1	13	21.7	13	11.7
1.5 r 〃	3	3.1	6	9.1	3	2.3	2	1.9	2	2.9	—	—	16	17.6	11	18.3	14	12.6
2 r 〃	1	1.05	1	1.4	1	0.6	0	—	0	—	—	—	4	4.4	5	8.3	5	4.5
2.5 r 〃	—	—	—	—	—	—	1	0.9	1	1.5	—	—	0	—	2	2.3	0	—
3 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1.5	—	—	2	2.2	0	—	1	0.9
3.5 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	1	1.7	—	—
4 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4.5 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 r 〃	—	—	—	—	—	—	—	—	1	1.5	—	—	—	—	1	1.7	—	—
5 r 以上	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
合計	97		66		133		107		67		136		91		60		111	

表９　昭和33年６ヵ月線量集計

線量区分(mR)		人数	中間値	人mR
390	以下	1467	9	13342
600	以下	474	495	234630
800	以下	113	700	79100
1000	以下	60	900	54000
1500	以下	66	1250	82500
2000	以下	20	1750	35000
2500	以下	33	2250	74250
3000	以下	2	2750	5500
3500	以下	5	3250	16250
4000	以下	4	3750	15000
4500	以下	4	4250	17000
5000	以下	1	4750	4750
5000	以上	0	9230	0
合計		2249		631322
平均(mR/人)				281

表10　昭和33年12ヵ月線量集計

線量区分(mR)		人数	中間値	人mR
800	以下	527	15	7813
1000	以下	152	900	136800
1500	以下	120	1250	150000
2000	以下	39	1750	68250
2500	以下	18	2250	40500
3000	以下	14	2750	38500
3500	以下	5	3250	16250
4000	以下	2	3750	7500
4500	以下	2	4250	8500
5000	以下	1	4750	4750
5000	以上	4	9230	36919
合計		884		515782
平均(mR/人)				583

表11　昭和33年６ヵ月線量と12ヶ月線量の合算

	人数(人)	総線量(人mR) 6カ月線量計	総線量(人mR) 12カ月線量
6カ月線量	2249	631322	1262644
12カ月線量	884		515782
合計	3133		1778427
平均(mR/人・年)			568

８．群雄割拠のサービス会社

東京オリンピックは昭和39（1964）年に開催されたが、その翌年、証券業界は構造不況に陥り、政府は金利政策で景気浮上を狙うが回復せず、戦後初の建設国債を発行した。これと相前後して、景気は回復基調に入り、「いざなぎ景気」と呼ばれる昭和40年11月から昭和45年に至る57月間続いた高度経済成長時代の好景気を迎えた。所得の向上により、新三種の神器が現れ、カー、クーラー、カラーテレビが消費を大きく伸ばし、いざなぎ景気の間に日本経済は大きく拡大し、昭和43年にわが国は世界第二の経済大国となった[24)]。

このような社会的な背景を受け、昭和40年代のフィルムバッジサービスは、各社群雄割拠の時代に入った。個人線量測定機関協議会（個線協）[*1)] に名を連ねている会社は、この時代に設立されている。ポニー工業株式会社は昭和40年４月、産業科学株式会社は昭和41年６月、長瀬ランダウア株式会社は昭和49年２月である。ちなみに弊社（千代田保安用品㈱、現：㈱千代田テクノル）が親会社の千代田レントゲン㈱技術部から独立し設立されたのが、昭和33年６月である。

これがモニタリングサービスの戦国時代の幕開けとなり、営業現場では激戦が続くこととなった。この競争の中で、モニタリングサービスの手法が時代に適合するように、少しずつ進化･発展することとなった。以後、弊社のモニタリングサービスの発展について記す。

＊１）測定サービス機関相互の技術的協議団体として、昭和59年に設立されました。当時、個人モニタリングサービスを実施していた４社が、《直接・間接的に法令と対比する個人線量の数値を社会に提供している》という責任の重大さを認識し、個人線量測定技術の維持向上のための共通的な事項を協議するため、文部科学省（旧､科学技術庁）のご指導を受けて発足しました。（略）（個線協ホームページより）

９．わが社のモニタリングサービス（昭和40年代）

現像施設は、昭和30年代に、東京（S33/６開設）、大阪（S34/10）、名古屋（S35/７）、福岡（S36/７）の各営業所に４箇所が設けられ、昭和40年代には、フィルムバッジサービスセンター[25)]（S42/１ 東京移設 **図16**）、仙台（S43/５）、敦賀（S44/６）、福島（S46/５）の４箇所が新設された。４増１減となり計７箇所となった。

当時は、「申込書」を受け付けると「登録番号のお知らせ」と「測定メモ」を作成し、登録番号を捺印したバッジフィルムを封筒に入れ郵送していた。昭和45年頃使用していた申込書、登録番号のお知らせ、測定メモ、発送封筒を**図17**に示す。

図16　フィルムバッジセンター

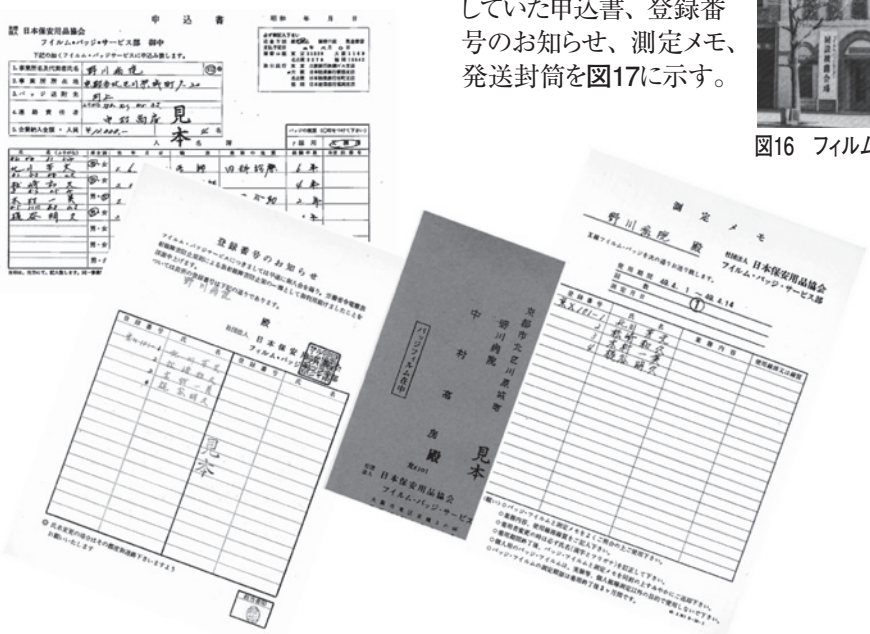


図17　申込書･登録番号のお知らせ･測定メモなど

図18　X線マーキング･現像装置･濃度計

使用期間を終了して測定依頼を受けたバッジフィルムは、受付記録を取った後、現像後の固体識別用番号を、X線でマーキング(S40/12)を行い、現像を行った（**図18**）。現像の終わったフィルムの光学濃度をアナログの濃度計で読み取り、線量は、基礎データのグラフから光学濃度に対応する数値を読取って、機械式計算機（**図19**）または計算尺（**図20**）を用いて計算していた。

算出した線量は確定した後、報告書（氏名･着用期間･線量）を作成し郵送する（**図21**）。それと同時に個人カードに線量を記録すると共にフィルムを保管していた（**図22**）。

昭和45年４月時点のサービス仕様を**表12**に示す。この時点で、X線用（S31/７サービス開始）、γ線用（S32/８）のフィルムバッジの他に、熱中性子用（S37/４）、速中性子用（S37/４）、広範囲用（S45/４）[26]、それにガラス線量計（S42/９）[27) 28) 29)] のサービスを行っていた（**図23、24**）。

昭和36年４月から線量測定下限値が30mRから10mRに引き下げられ、測定範囲は、10～1800mRとなり、昭和43年10月にはバッジフィルムは１枚パックから２枚パックに変わり、それを機に測定範囲は10～4000mRとなった[30]。

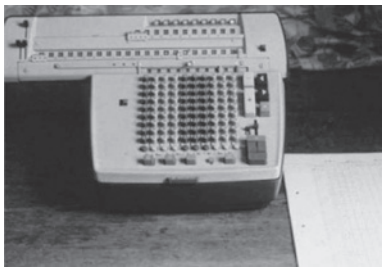


図19　機械式計算機

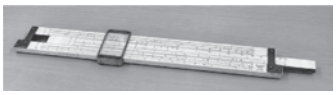


図20　当時使用していた計算尺

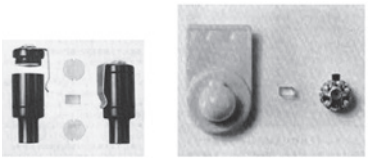
図21　報告書の一例

図22　個人カード保管･現像済フィルム保管

表12　昭和45年4月のサービス仕様

フィルムバッジの種類	測定放射線	測定範囲	精度	検査料金
X線用	・X線(20～80kV)	10～4,000mR(10mR単位)	50mRまでは誤差線量5mR、50mR以上については測定線量の1割	1名13回(半年)3,250円郵便料含む
γ線用	・γ(X)線(120keV～3MeV) ・γ線+β線(1.5MeV以上) ・γ線+soft-ray(120keV以下)	10～6,000mR(mrem)(10mR(mrem)単位)	100mRまでは誤差線量10mR、100mR以上は測定線量の1割	
熱中性子用	・熱中性子+γ線+β線(1.5MeV以 ・熱中性子+γ線+soft-ray			
速中性子用	・速中性子+熱中性子+γ線+β線			1名1回500円
広範囲用	・X線+γ線(10keV～3MeV) ・β線(0.5MeV以上) ・熱中性子(0.025eV)			1名1回400円
ガラス線量計	・γ線(90keV～3MeV)	10mR～3000R	Fading−1%/3月	年4回測定　1,500円
				3ヶ月　400
			方向性±10%以内	6ヶ月　600円
				1ヶ年　1,000円

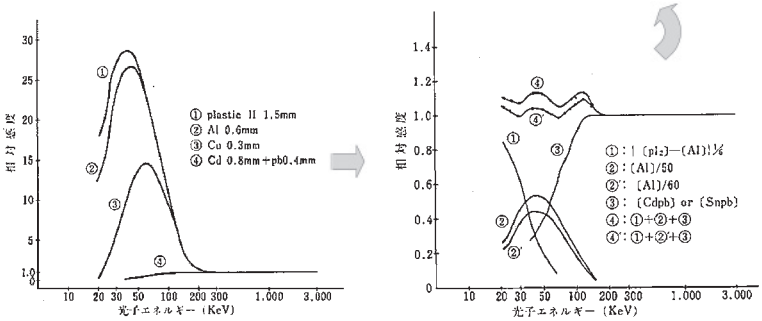
図23　X線用、γ線用、広範囲用フィルムバッジ



万年筆型　　カールスルーエ型

図24　ガラス線量計

$$ED(X+\gamma)=\{([P2]-[Al])/6+[Al]/60+[CdPb]\}f_D$$



バッジフィルムのエネルギー特性　　合成したエネルギー特性

図25　レスポンス合成法

図26　導入されたプログラム式卓上計算機

広範囲用フィルムバッジは、昭和40年2月10日東京･八重洲･龍名館ホテルで開催したフィルムバッジ技術研究会にて、日本原子力研究所･宮永一郎氏の講義を聞き、初めて知ることができた[31]。

その主な内容は、**図25**に示す線量算出式（ED（X+γ））の求め方でした。**図25**の左図のフィルムエネルギー特性を適度に組み合わせ、右図のようにフラットなエネルギー特性が得られるようにレスポンスを合成する方法で線量算出式を組み立てる。

昭和46年7月には卓上計算機を導入し、計算が合理化された。また昭和47年12月には福田光道の発案で、数10ステップのプログラム計算機が導入され、線量が容易に算出できる環境が整った（**図26**）。これを契機として、基礎データ等の関数化が本格的に始まり、これが将来の機械化に繋がった。

参考文献

22）荒川昌　放射線従事者被曝線量の測定結果
セイフティ・ダイジェスト
昭和34年11月号
㈳日本保安用品協会(1955)64

23）平成元年個人線量当量の実態
フィルムバッジニュース　No.167
千代田保安用品㈱(1990)1

24）いざなぎ景気Wikipedia.mht

25）新装になったサービスセンター
フィルムバッジニュース　No.12
㈳日本保安用品協会(1967)4

26）広範囲X線γ線用バッジケースについて
フィルムバッジニュース　No.35
㈳日本保安用品協会(1970)11

27）蛍光ガラス線量計による個人被曝線量の測定利用
フィルムバッジニュース　No.13
㈳日本保安用品協会(1967)6

28）蛍光ガラス線量計測定サービスのご案内
フィルムバッジニュース　No.16
㈳日本保安用品協会(1967)11

29）蛍光ガラス線量計の測定サービス
フィルムバッジニュース　No.43
㈳日本保安用品協会(1972)16

30）新しい2枚パックバッジフィルム
フィルムバッジニュース　No.22
㈳日本保安用品協会(1968)2

31）フィルムバッジ技術研究会
フィルムバッジニュース　No.01
㈳日本保安用品協会(1965)4

「第８回　放射線モニタリングに係る国際ワークショップ」が開催されました！

(The 8th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring)

昨年12月１日（土）、２日（日）の２日間に亘って、大洗パークホテルを会場に、千代田テクノル研究顧問の山本幸佳 大阪大学名誉教授が国際組織委員長を務める「第８回 放射線モニタリングに係る国際ワークショップ」が開催されました。

年々参加者数を増やしながら続けられてきたこのワークショップは、今年は、19ヵ国（オーストリア、ベルギー、ブラジル、中国、クロアチア、ドイツ、ハンガリー、インドネシア、イタリア、カザフスタン、韓国、マレーシア、オランダ、フィリピン、ポルトガル、ロシア、ウクライナ、米国、日本）の26機関（海外20）、23大学（海外８）から141名（海外34）の参加を得て、６件の特別講演、22件の一般講演、31件のポスター発表が行われました。

このワークショップには、ここ数年、大洗町の全面的ご協力を得ており、小谷隆亮 大洗町長も参加され、初日の開会のご挨拶、２日目の懇親会のご挨拶を賜りました。

多くの講演が行われましたが、誌面が限られていますので、ここでは特別講演の題目のみ、ご紹介します。

歓迎の挨拶を述べられる 小谷隆亮 大洗町長

特別講演Ⅰ

“Current and potential new applications of Optically Stimulated Luminescence in forensics and security”

Prof. Stephen W. S. McKEEVER

特別講演Ⅱ

“Thermoluminescent high-dose detectors for radiation technologies”

Prof. Vsevolod Semenovich KORTOV

特別講演Ⅲ

“Irradiation-induced electrical charging of dielectrics”

Prof. Hans-Joachim FITTING

特別講演Ⅳ

“3-D photon dose rate field evaluation in the airspace above the Chernobyl new safe confinement construction site”

Dr. Vadim V. CHUMAK

特別講演Ⅴ

“Trend of nuclear power program and lessons learned from Accident of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station”

Dr. Sueo MACHI

特別講演Ⅵ

“December 2, 2012 : the 70th Anniversary of Chicago Pile 1（CP-1）”

Prof. Francesco d'ERRICO

ポスター発表では、大学院生や研究者の方々が放射線検出器の開発や計測技術に関わる基礎から応用まで、また、福島原発事故による放射能汚染地域の線量計測や食品中放射能の測定等、幅広い研究の成果を発表していました。弊社からも、４件の発表を行いました。

今回のワークショップでは、２日間の講演・発表会の翌日（12月３日）には、参加者の希望に基づいて２班に別れ、一方の班（13名）は、弊社大洗事業所の放射線モニタリングセンターと放射線校正施設の見学を行いました。もう一方の班（海外からの参加者の大部分を含む51名）は、バスで福島へ移動し、途中、南相馬市で除染作業現場を見学し、状況の説明を受けた後、その夜、福島市のホテル（サンルートプラザ福島）でサテライトミーティングを行いました。“What can be done for the reconstruction of Fukushima”をテーマに、２件の基調講演の後、パネルディスカッションが行われました。２件の基調講演は下記の通りです。

ポスター発表会場では熱心な質疑・応答、情報交換が行われた

基調講演Ⅰ

“Discrepancy between regulatory and hazardous levels of radiation-How to provide public risk consciousness against low radiation-”

Dr. Junko MATSUBARA

基調講演Ⅱ

“Dose and contamination due to Fukushima Daiichi NPS”

Mr. Toshikazu SUZUKI

ワークショップの講演・発表とサテライトミーティングの講演は、印刷物とCDのプロシーディングにまとめられる予定です。

年々参加国・参加者が増えながら開催されてきたこのワークショップでは、千代田テクノルは事務局の役割を担っています。来年以降もさらに参加国も参加者数も増大し、内容豊富でレベルの高いワークショップに発展していくように、関係者一同、努力して参ります。

国際ワークショップ参加者の皆さん（大洗パークホテル）

サービス部門からのお願い

測定依頼票が見当たらないときは…？

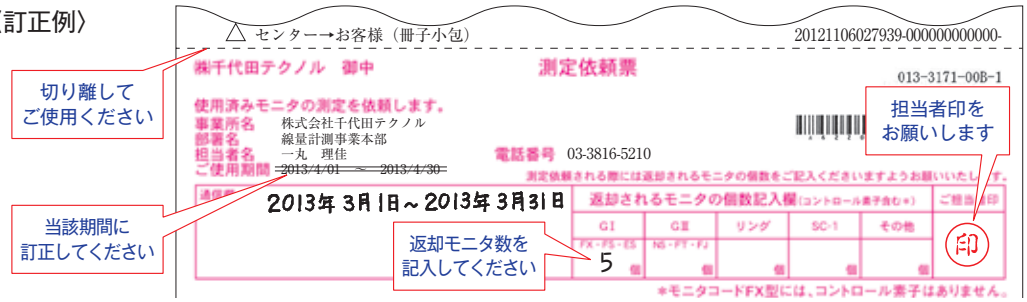
平素、弊社のモニタリングサービスをご利用くださいまして、誠にありがとうございます。

測定依頼の際に同封してくださいますようお願いしております「測定依頼票」は、「モニタお届けのご案内」の左下部分にございます。ミシン目で切り離してご使用ください。

「測定依頼票」を紛失されたときは、次回分の「測定依頼票」をコピーし、ご使用期間を当該期間に訂正してご使用ください。「測定依頼票」の再発行は行っておりません。

コピーなどの方法が取れないお客様は、メモ用紙にご使用期間、返却モニタ個数を記入し、測定依頼してください。お客様のご理解とご協力をよろしくお願いいたします。

〈訂正例〉



編集後記

●今年の冬は寒い日が多く、14日は朝から一日中雪が降り続いて、練馬の自宅でも10cmは積りました。一面の銀世界できれいでしたが、歩くのは注意が必要でした。12月の選挙で政権が変わって、円安と株価上昇が起こり、大型補正予算でアベノミックスとマスコミでは盛んに取り上げていますが、先行き上手く行くのか心配です。

●３月号から、産業技術総合研究所の田中隆宏氏、黒澤忠弘氏、齋藤則生氏によるマンモグラフィの安全を支える線量計測という連載記事が始まりました。乳がん検診に使用されるマンモグラフィ用の10−20keVという低いエネルギーのX線線量の精度良い評価のための国家標準の開発について詳しい解説がなされています。数年前に私が開発した８keV から1.5MeVまで測れるワイドレンジシンチレーションサーベイメータならカバー出来る範囲です。ただし、これは周辺線量当量を求める測定器ですが。

●その他に当社大洗研の棚瀬アドバイザーから、照射試験用原子炉に関する２つの国際会議、ISMTR-5（第５回材料試験炉国際シンポジウム）とASMTR-2（第２回アジア材料試験炉シンポジウム）の報告がなされました。前者はアメリカ、ミズーリ州コロンビアで44名の参加者で開催され、後者はタイのバンコックで31名の参加者で開催され、いずれも原子炉を用いた材料試験、^{99}MoなどのＲＩ製造などの放射線利用の推進、産業利用の拡大を図ることの重要性が認識されたそうです。

●当社の松本アドバイザーによる個人モニタリングサービスの歴史は連載３回目となり、サービスの成長期Ｉの話になりました。この頃はもちろん写真フィルムバッジが個人線量計として使われていて、私も学生時代から使っていました。この頃の珍しい写真やデータが示されていてとても興味深いですが、特に当時の線量計着用者の人数が2000人余りと少なくて、今の100分の１にも及ばないのは、如何にその後放射線利用が進んだためかと改めて思います。

（T.N.記）

FBNews No.435

発行日／平成25年 3 月 1 日
発行人／細田敏和
編集委員／佐藤典仁　安田豊　中村尚司　金子正人　加藤和明　岩井淳　大登邦充　加藤毅彦
小林達也　篠崎和佳子　根岸公一郎　野呂瀬富也　福田光道　藤崎三郎　丸山百合子　三村功一
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／株式会社テクノルサポートシステム

ー禁無断転載ー　定価400円（本体381円）