



Photo T.F.fukuda

## Index

|                                 |       |    |
|---------------------------------|-------|----|
| 原子力の中の「放射線利用」 .....             | 町 末男  | 1  |
| 橈骨骨密度測定における被ばく線量測定              |       |    |
| 山口 一郎・大久保 誠・緒方 裕光・出雲 義朗・加藤 朗    |       | 5  |
| ガラスバッジによるモニタリングサービス .....       | 寿藤 紀道 | 10 |
| ガラスバッジの新しいラベルデザインのご案内 .....     |       | 15 |
| 〔テクノルコーナー〕                      |       |    |
| ガラスバッジによる二次元バーコード式入退室システム ..... |       | 17 |
| 〔サービス部門からのお願い〕                  |       |    |
| 速報サービスをご利用ください .....            |       | 19 |

# 原子力の中の「放射線利用」

町 末男\*

## ◇「カナナスクス・サミット」と 原子力の関わり

今年6月26日からカナダのカナナスクスでロシア大統領も参加して開かれたG8サミットにおいて私には深い関心のある2つの事柄が合意された。

まず、年間60億ドルの「アフリカ支援」が合意されたのは、「貧困撲滅」の重要性が認識されたからだ。「貧困」こそがテロリストを生み出す大きな原因の1つである。

日本は飽食の時代だが、世界では13億人が1日1ドル程で細々と食いつないであり、8億人が慢性的栄養失調に苦しんでいる。国連では、2015年までにこの貧困層の数を半減する目標を立てて各国に協力を呼びかけているが、実現は容易ではない。将来の世界平和の達成には「貧困の撲滅」への努力こそ、時間はかかるが、効果的な人道的なアプローチと言える。

このような観点から、食糧、農業、医療、水資源などの貧困対策に役立つ分野で利用できる放射線・RIの技術の途上国への移転が重要である。日本の若い科学者は、こ

のような「貧困に立ち向かう科学・技術」という視点を持つべきである。

もう1つの重要な合意は、核兵器削減と核兵器拡散防止のためのロシア支援である。核兵器の解体から出てくるプルトニウムを高速炉あるいは軽水炉のプルサーマルで燃やして、平和的に利用するための支援で、今後10年間でG7国は200億ドルという大きな金額を支援する。日本政府は当面2億ドルの支援を約束した。

## ◇「エネルギー戦略」と原子力 小泉首相の方針演説 -

小泉首相は、今年2月の施政方針演説で温室効果ガス(GHG)の削減対策に言及し、「省エネルギー対策、新エネルギー対策を強力に進めると共に、二酸化炭素を排出しない原子力発電を、安全確保を大前提に着実に推進します」と原発推進を述べ、さらに「燃料電池は、水素をエネルギーとして利用する時代を拓く鍵です。自動車の動力や家庭の電源として、3年以内の実用化を目指します」と水素の利用を重視している。これは「原子力が地球と人類の共存に不可欠」

\*Sueo MACHI 日本原子力産業会議 常務理事

であるという国の明確な方針を示した重要な演説である。

京都議定書で定められたように日本のGHG発生量を2010年から2012年の平均値で1990年レベルから6%削減するのは、容易ではない。経済産業省は2010年までに10～13基の原発の増設を計画している。現在、建設中5基、計画中の6基である。これでエネルギー生産に係わるGHG発生量をようやく1990年レベルに戻せる(マイナス6%ではなく)のであり、目的達成には省エネなどを含め、更にかかなりの削減が必要である。

首相演説にあるクリーンな水素エネルギーの利用には、炭酸ガスを発生しないで水素を製造する方法が必要である。つまり原子力の直接熱利用による水分解(原研IS法)か、原発の電力を利用した水の電気分解による水素製造である。火力発電電力による水の電気分解では炭酸ガスは減らない。「原研の高温ガス炉」の開発研究に期待がかかることである。

日本のエネルギーの80%は海外依存である。石油の87%を政治的に不安定な中東から輸入している。これでエネルギーの安全保障は大丈夫だろうか。化石燃料は有限である。アジアの人口は多くエネルギー源が少ないので、原子力の重要性が高く、17基の原発が建設中である。

原発のコストは火力等に比べて十分に競争力がある。米国では原子力発電所の寿命を40年間からさらに60年間に延ばすことを実現している。これらの償却の終わった原発から生産される電力コストは特に安い。

現在、世界の電力の16%は原子力で生産されていて、GHG発生量の8%を削減し

ている。今後も原子力が持続的発展に貢献していくのは間違いない。

## ◇ 「生活に役立つ」放射線利用

一方、放射線利用の分野では「人類の福祉」、「産業の発展」に直接に効果のある技術が開発されており、これが先進国は勿論、途上国の持続的発展に活用されている。筆者が長く働いていた国際原子力機関(IAEA)では、この分野の原子力利用の推進に年間予算の25%(105億円)以上を割当てるほど力を入れている。この「生活密着型の原子力利用」を説明する。病院の衛生状態を高いレベルに保つことは治療の基本である。治療に欠かせない、注射器、輸液セット、カテーテル、メス、人工透析器、サージカルテープ、手術用シーツ、などの多くの医療材料が放射線によって滅菌されている。この技術の普及率は日本で約50%にも達している。最近の例ではベトナム・ホーチミン市にIAEAの協力で大型の放射線の滅菌施設が完成し、昼夜の連続運転でフルに活用されている。最近の医療材料は大部分プラスチックで作られているので、熱を使った高温滅菌法は使えないのである。放射線によれば常温で薬剤も使わず、作業にも環境にもやさしい効率的な滅菌処理が可能である。

## ◇ 「飢餓と闘う」ために

栄養失調や飢餓に苦しむ8億もの人々を救うために、食糧増産を達成することが途上国の緊急な課題である。放射線育種法ですでに1500もの高収穫性の優良品種が開発されている。例えば中国では高収穫の稲を開発し、すでに150万ヘクタールにもわた

って利用して大きい経済効果を得ている。食糧問題が深刻なサブサハラのアフリカ諸国はバナナやソルガム( とうりゃん類 )などの品種改良を進めている。

## ❖ 「患者にやさしい」

### ガンの放射線治療

ガン治療として放射線法が増えている。日本のガン治療患者の20%程度が照射治療を受けている。臓器の切除を伴わない、患者にやさしい方法だ。正常組織への照射を最小限に抑えて、ガンの部位に放射線を集中させる、新しい手法が次々と開発されている。

アメリカではすでに50%のガン患者が照射治療の利点を享受している。途上国の悩みは治療装置が高価で入手できないことだ。バングラディッシュでは全人口1億2千万人に照射治療装置が6台しかない。先進国では20万人に1台程度に設置されているのとは大きな違いである。途上国の治療装

置の数を増やしていくために、日本などの先進国の支援が必要である。下に示した写真はアジアに多い子宮頸ガン患者を日本の「アジア地域原子力協力フォーラム( FNCA )」の活動の一環として治療したものである。第 B期の患者210人のテストで5年後生存率54%という良い成績が上がっている。

## ❖ 酸性雨を防止して、 副産品の肥料を得る。

地球と共存する産業技術という観点で放射線法が注目されている。化学触媒などに代わって放射線照射という物理的方法を利用する。電線やタイヤ産業などで広く普及・利用されている。直接的に環境対策に放射線を利用する例として、石炭火力発電の排ガスに照射して脱硫・脱硝し、副産品として化学肥料を得る日本の革新的技術が、日本、ポーランド、中国、IAEAなどの協力で実用化を達成した。ポーランドと中国の火力発電所で実用機が動いており、日本でも中部電力での運転開始が近い。

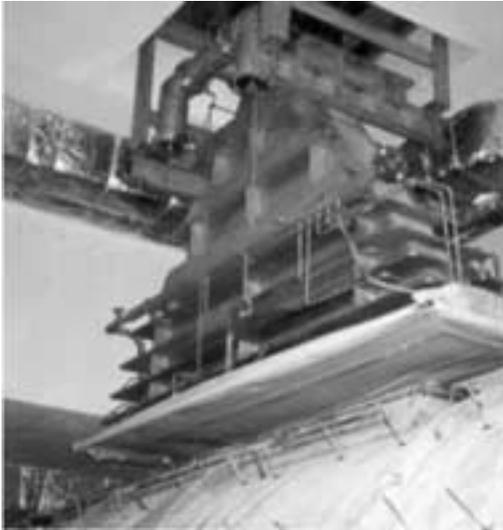
治療前



治療後



子宮頸ガンの放射線治療の成績



電子線法脱硫・脱硝の実用装置  
(ポーランドの石炭火力発電所に  
設置されている)

## ◇ 終わりに

梅雨の晴れ間という今日、7月8日私の住む高崎は、早くも36 だった。私が12年間住んだウィーンの町の冬の雪は年々減っている。地球の温暖化は確かに進んでいることが実感される。先日は、都市の一部で光化学スモッグが発生し、目の痛みを訴えた人達が居た、とテレビが報じていた。日本の環境も一層の浄化が必要である。原子力科学・技術は環境を守る多くの可能性をもっている。人間の智慧で上手にそれらを活用していくことが求められている。

(平成14年7月8日稿)

## ◇ 日本は何故

『アジア地域原子力協力』をやるのか

経済大国日本が年間数億円の予算を使って近隣諸国の貧しい人々を少しでも助けることは、人道的に考えても有効な税金の使い道である。

原子力委員会が主導し、文部科学省と関連機関が実施主体となっているFNCAは、東アジア9ヶ国が参加する重要な多国間協力である。農業、医療、研究炉、加速器、広報、安全文化、廃棄物、人材養成などを含む分野をカバーしている。年1回の大規模会合で政策対話を行うと共に、社会・経済的な効果を目指したプロジェクトが各国関係者の協力で推進されている。国だけでなく、大学や民間による協力も進んでいる。

### ―― 執筆者のプロフィール ――

日本原子力研究所で「ポリエチレンなど高分子の合成と改質」および「電子線を利用した火力発電所の排ガスの脱硫・脱硝」などの研究開発に従事し実用化を達成、100以上の研究論文を公表、企画室次長、高崎研究所所長をつとめた。その後2000年まで、9年間IAEA事務次長として「広範囲の放射線・RI利用」と「途上国支援」を中心に国際的研究協力と技術移転の推進に努力。2000年より現職。2001年より原子力委員会参与。

34年静岡県生まれ。67年工学博士(京大)。2000年 紫綬褒章

## 橈骨骨密度測定における被ばく線量測定 走査ビーム線量測定

山口一郎\*<sup>1</sup>、大久保誠\*<sup>2</sup>、緒方裕光\*<sup>1</sup>、出雲義朗\*<sup>1</sup>、加藤 朗\*<sup>3</sup>

(2001年7月2日受理)

(2001年8月20日再受理)

Radiation Dose in Radius Bone Mineral Density Measurements  
Using Dual Energy X-ray Absorptiometry  
-Dosimetric Method on Scan Beam-

Effective doses in radius bone mineral density measurements using dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) were assessed with entrance beam intensity and X-ray absorption rate in organs. The X-ray entrance beam intensity was calculated from an energy fluence rate, and we demonstrated how to assess beam intensity by using thermoluminescent dosimeters (TLDs). The entrance beam energies were calculated from X-ray beam intensity in regard to beam sizes, scan areas, and scan times. The X-ray absorption rates were calculated by using X-ray absorption curves at bone mineral density measurements. The average tissue doses were determined by using reference female and men. Skin entrance intensity was  $4 \times 10^{-4}$  [J/(m<sup>2</sup>·s)]. Skin entrance energies were  $1 - 2 \times 10^{-3}$  [J] in proportion to wrist width. The effective dose was approximately 5 nSv.

KEY WORDS : radiation dose, radius, bone mineral density measurement, dosimetric method, scan beam, beam intensity

### 緒 言

近年、社会の高齢化に伴い骨粗しょう症への関心が高まっている。このため、骨密度測定装置の普及とともに人々の密度検査の機会も増大している。骨密度の測定法として、現在最も多用されているのは、2種の印加電圧により発生させたX線の細いビームを測定部位の前腕部、とりわけ橈骨に照射しながら走査させ、両エネルギーX線の吸収差に基づく方法、すなわち、橈骨Dual energy X-ray absorptiometry(DEXA:二重エネルギーX線吸収法)法である。橈骨DEXA法における被ばく線量は、実効線量で35 μSv以下とされるが、医療機関における骨塩定量装置数は、平成5年から平成11年で723台から9,381台に増加し、1週間あたりの検査件数も同じく6,807件から78,975件と多く増加傾向にあること<sup>1)</sup>、さらに、このうち比較的若年者の測定機会も増加しているなどから、本検査による国民被ばく線量への寄与も今後増大する傾向にある。

しかし、従来の被ばく線量は、1)実効エネルギーを計測し、その入射皮膚表面の空気吸収線量から評価する方法<sup>2)</sup>や2)ファントムの各臓器にTLD素子を挿入し測定する方法<sup>3)</sup>により評価されている。これらの方

\*<sup>1</sup>Ichiro YAMAGUCHI \*<sup>2</sup>Makoto OHKUBO \*<sup>1</sup>Hiromitsu OGATA \*<sup>1</sup>Yoshiro IZUMO and \*<sup>3</sup>Akira KATO

\*<sup>1</sup>国立公衆衛生院放射線衛生学部(現 国立保健医療科学院) \*<sup>2</sup>東京都港区みなと保健所保険予防課、\*<sup>3</sup>千代田テクノル

この原稿は「保健物理(Vol.36, No.4)」から許諾を得て転載させていただきました。

法では、骨における直接的な吸収線量は評価されておらず、また、照射された軟組織及び骨など臓器の不均衡被ばくが考慮されていない。また、標的臓器の照射割合を考慮し骨密度測定における実効線量評価を試みた報告<sup>4,5)</sup>では、ファントムへのTLDの埋め込みやスラブファントムを用い表面線量に対する深部線量の割合を求めて、吸収線量を評価しており、個々の患者に対し適用できる方法ではない。

そこで、本報では、これらの問題を解明するため、まず、走査ビームの線量測定法としてエネルギーフルエンスと照射面積を用いたX線の入射強度測定を検討した。次に、骨密度測定時に測定される臓器を透過したX線の減弱割合を利用し、等価線量及び実効線量を算定した。

## 方法及び材料

### 1. 骨密度測定装置

ALOKA社製DCS - 600EXを用いた。その管電圧は35kV及び70kV(切替周期15ms連続)、また、照射及び測定部位は、前腕部の遠位1/3における橈骨、照射野は2mm(ビーム径)、走査速度は検診で通常使われるプロファイルスキャンでは4mm/sであり、この速度は照射部位では一定である。本装置では、2種の異なるX線エネルギー分布(管電圧切換)をそれぞれ単色化する方法として、フィルターを用いている。この方法では、完全な単色化は達成されないが、それぞれを単色ビームとみなして検討した。それぞれの単色ビームのエネルギーはカタログ値<sup>6)</sup>の約26keV、約53keVを用いた。X線は回転するフィルタ(アルミニウム及び銅)を通過し被験者に照射される。X線のフルエンス率は、それぞれのエネルギーのビームについて、 $5.8 \times 10^4$  (s・mm<sup>2</sup>)(CV10%)とされている<sup>6)</sup>。X線管と検出器は連動し走査を行う。また、

検出されたX線の吸収が大きく変化する部位を骨端とし、骨幅を求めている。

### 2. 入射表面X線強度及び入射エネルギーの算出

入射X線の強度は、その定義から入射表面のエネルギーフルエンス率に等しい。26keVと53keVの光子のそれぞれ半数がフィルターでカットされ、残りが均等に入射されるとすると、その入射強度は、 $3.7 \times 10^{-4}$  [J/(m<sup>2</sup>・s)]となる。

被験者の腕に入射したX線の総エネルギーは入射強度を腕における照射中の走査時間、走査面積で積分して得た。

### 3. TLD素子による入射表面線量の測定による入射表面X線強度の算出

測定結果は、1cm線量当量で表示されるため、照射野の大きさ及び後方散乱により補正した後、照射線量に換算する必要がある。得られた照射線量を照射時間で割ると、照射線量率( $R/s$ )が得られる。次に、この照射線量率から空気中の空気吸収線量率( $Da$ )へW値を用い換算した後、入射X線の強度(X線エネルギーフルエンス率) $I_0$  (J/m<sup>2</sup>s)を式(1)により求めることができる。それぞれの換算は、式(1)を用いることができる。

$$I_0 = \frac{Da(J/kg \cdot s)}{\mu_{air}(m^2/kg)} \quad (1)$$

ここで、 $\mu_{air}$ は空気の種類係数である。

ビームは細く素子はその一部しか照射されない。そこで、素子全体への入射エネルギーの評価はその微小エネルギーを $dJ$ (J)として、次式(2)より求めることができる。

$$dJ = I_0 \cdot dW \cdot l_B \cdot dt \quad (2)$$

ここで、 $dW$ : 走査方向移動微分距離、 $dt$ : 微分照射時間、 $l_B$ : ビーム走査の幅である。

### 4. 骨及び軟組織におけるX線の吸収割合の算出

骨及び軟組織におけるX線の吸収割合

は、骨密度測定装置により走査距離ごとのX線減弱曲線を出力させ(Fig.1) それぞれのエネルギーのX線に対する、軟組織のみ及び軟組織と骨の両方が存在する領域における減弱割合を求め算出した。すなわち、エネルギー $E_1$ のX線による軟組織の吸収エネルギー $J_{1w}$ (J)を、下記(3)式から算出した。

$$J_{1w} = I_{01} \times \left( (1 - e^{-h_1}) \right) dL \quad (3)$$

ここで、 $h_1$ は、エネルギー $E_1$ のX線に対する軟組織における吸収割合であり、式が $h_1$ より大な領域について積分することを示す。また、組織中で減弱したX線のすべてがそこで吸収されたとした。

一方、骨への吸収エネルギー $J_{1b}$ (J)は、

$$J_{1b} = I_{01} \times \left( (e^{-h_1} - e^{-h_2}) \right) dL \quad (4)$$

から求めた。

### 5 . 等価線量 (equivalent dose)

定義 ( $H_T = \sum_R W_R \cdot T_R$ ) に基づき、

X線ビームにより骨及び軟組織に与えられたエネルギーを臓器質量で除算して得た。腕に入射した光子のうち、骨に入射する光子数は、骨幅で補正した。臓器質量はICRP報告値<sup>7)</sup>及び田中の報告値<sup>8)</sup>を用い、標準人の値をそれぞれの被験者の年齢を考慮し、さらに、体重で調整した。 $W_R$ はICRP報告書60<sup>9)</sup>の値を用いた。

### 6 . 実効線量

定義 ( $E = \sum_T W_T \cdot H_T$ ) に基づき算出した。

$W_T$ はICRP報告書60の値を用いた。なお、等価線量及び実効線量の算出にあたり、骨及び軟組織におけるX線の減弱割合は協力が得られた港区みなと保健所の職員及び筆者らの骨密度測定時のデータを用いた。データ提供者の年齢は31~54歳で、女性5人男性7人の計12人である。

### 結果及び考察

#### 1 . 被ばく線量

被験者の腕に入射するX線エネルギーは、腕の幅と走査回数に依存する。橈骨遠位1/3における腕の幅を [mm]とすると、1回片道走査時間は /4[s]となる。また、照射野面積が [mm<sup>2</sup>]なので、腕への入射エネルギーは、 $3.7 \times 10^{-4} [J/(m^2 \cdot s)] \times /4 [mm^2 \cdot s] \times 10^{-6}$ となる。このため、腕の幅が50mmの場合には、 $1.4 \times 10^{-8} [J]$ と推定された。

これらのエネルギーのうち、骨密度や腕の厚さにもよるが、5~10%が骨で吸収され、70~80%が軟組織で吸収されていた。被験者毎に腕の幅で補正した入射エネルギー及びX線エネルギーの吸収量に基づき骨及び軟組織の等価線量及び実効線量を算出した結果をTable 1に示す。表は、各被験者について年齢、性別、骨密度、骨幅及び

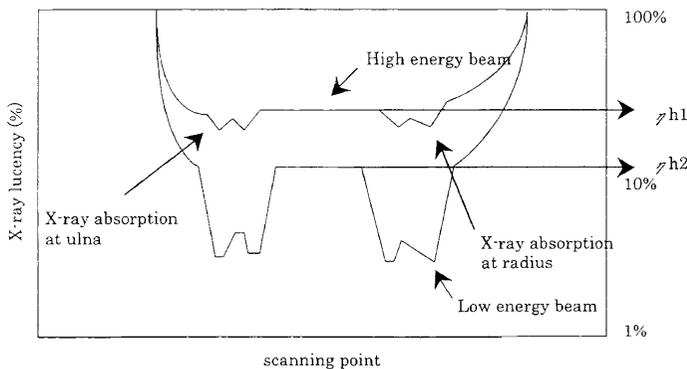


Fig. 1 X-ray absorption curve(model)

| Age | Sex | BMD<br>(g/cm <sup>2</sup> ) | BW<br>(cm) | Entrance<br>beam<br>energy<br>(10 <sup>-8</sup> J) | Absorption<br>rate in<br>bone(%) | Absorption<br>rate in soft<br>tissue(%) | Average<br>tissue dose<br>at bone<br>(10 <sup>-10</sup> Sv) | Average<br>tissue dose<br>at soft tis-<br>sue | Effective<br>dose<br>(nSv) |
|-----|-----|-----------------------------|------------|--|----------------------------------|---|---|---|----------------------------|
| 44  | F   | 0.626                       | 1.2        | 1.4  | 5.4%                             | 71%                                     | 1.1   | 6.5   | 5                          |
| 54  | F   | 0.652                       | 1.1        | 1.2  | 8.2%                             | 71%                                     | 2.4   | 7.9   | 7                          |
| 46  | F   | 0.663                       | 1.2        | 1.3  | 7.0%                             | 72%                                     | 1.6   | 7.2   | 6                          |
| 38  | F   | 0.676                       | 1.3        | 1.5  | 9.2%                             | 70%                                     | 2.0   | 6.3   | 6                          |
| 38  | F   | 0.710                       | 1.4        | 1.6  | 7.5%                             | 74%                                     | 1.5   | 6.1   | 5                          |
| 43  | F   | 0.712                       | 1.3        | 1.5  | 3.3%                             | 76%                                     | 0.7   | 7.1   | 4                          |
| 52  | M   | 0.716                       | 1.3        | 1.5  | 9.3%                             | 73%                                     | 2.1   | 6.6   | 6                          |
| 47  | M   | 0.718                       | 1.3        | 1.5  | 7.9%                             | 74%                                     | 1.4   | 5.8   | 5                          |
| 41  | M   | 0.725                       | 1.2        | 1.3  | 11%                              | 67%                                     | 2.0   | 5.1   | 5                          |
| 51  | M   | 0.777                       | 1.3        | 1.5  | 6.6%                             | 76%                                     | 1.2   | 6.2   | 5                          |
| 39  | M   | 0.789                       | 1.3        | 1.5  | 7.5%                             | 74%                                     | 1.3   | 5.2   | 4                          |
| 31  | M   | 0.826                       | 1.6        | 1.9  | 5.0%                             | 77%                                     | 1.0   | 5.9   | 4                          |
| 46  | M   | 0.838                       | 1.5        | 1.7  | 6.4%                             | 77%                                     | 1.4   | 7.6   | 6                          |

Table 1 Entrance beam energies and Effective dose

| Body weight<br>(kg) | Body weight of<br>reference(kg) | Bone weight of<br>reference(kg) | Soft tissue<br>weight<br>of reference(kg) | Bone weight<br>(kg) | Soft tissue<br>weight(kg) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---------------------|---------------------------|
| 60                  | 64                              | 7                               | 16  | 7                   | 15                        |
| 47                  | 67                              | 6                               | 16  | 4                   | 11                        |
| 55                  | 66                              | 7                               | 16  | 6                   | 13                        |
| 60                  | 62                              | 7                               | 17  | 7                   | 16                        |
| 70                  | 62                              | 7                               | 17  | 8                   | 19                        |
| 65                  | 64                              | 7                               | 16  | 7                   | 16                        |
| 56                  | 75                              | 9                               | 22  | 7                   | 16                        |
| 65                  | 76                              | 10                              | 23  | 9                   | 20                        |
| 56                  | 76                              | 10                              | 24  | 7                   | 18                        |
| 65                  | 76                              | 10                              | 22  | 9                   | 19                        |
| 63                  | 76                              | 10                              | 25  | 8                   | 21                        |
| 68                  | 76                              | 10                              | 27  | 9                   | 24                        |
| 72                  | 66                              | 7                               | 16  | 8                   | 17                        |

Table 2 Organs weight assumptions

皮膚表面への入射エネルギーを併記し、骨密度の高い順に並べた。

骨及び軟組織の等価線量は、それぞれ10～20 nSv、50～80 nSvであった。また、実効線量は、概略5 nSvであった。本法により求めた値は、従来値( $H_{1cm}$ : 35  $\mu$ Sv)より著しく低かった。本法の骨密度と被ばく線量の関係から、従来より精度の高い集団線量の評価も可能である。また、今回の被ばく線量推定では、X線を単色ビームと見なした。本装置により発生するX線は、比較的

単色化されているとされるので、この近似による誤差の影響はさほど大きいとは考えられないが、低エネルギー成分は吸収されやすい。また、腕を透過中に、X線スペクトルは変化する。このため、被ばく線量推定値に誤差が生じる。また、腕に入射したX線の強度と検出器に入射したX線の強度の差が、吸収線量に寄与したと仮定したが、散乱されたX線がすべてそのエネルギーを腕に与えるものではない。さらに、その被ばく線量評価にあたっては、散乱線による他

臓器の被ばくも無視できないと考えられた。

## 2. X線ビーム走査被ばく線量の測定

X線診断における被験者の被ばく線量の指標として、一般的に被験者人体表面の線量が用いられている。ブロードな照射と異なり細いビームによる走査では、どのように線量を評価すべきかが課題となる。本報で用いた方法を使うと、ブロード照射の場合も含め、被験者人体へ入射するX線ビームのエネルギーフルエンスとビーム径やその走査に関する照射野の位置と大きさや照射時間を考慮すると実効線量に関係した評価ができる。さらに、走査に沿って、被験者からの出射ビームのエネルギーフルエンスを測定することにより、各臓器に着目した吸収線量を得られる。

本報では、各臓器におけるX線の吸収割合を検出器の走査による計数値の変化から求めた。一方、骨の密度は人体により変わるが、骨の質量減衰係数は、骨粗鬆症の人を含め個人によらず一定であると仮定すると、エネルギーサブラクションを利用し、骨の厚さと骨密度が得られ、各臓器に吸収されたエネルギーを計算することもできる。

患者被ばく線量のモニタリングは、我が国では、一部を除きほとんど行われていない現状にある。本法を用いることにより、患者毎の各臓器の吸収線量に着目した被ばく線量測定が、より容易に行なえる可能性がある。

## 結 論

DEXA法による橈骨骨密度測定における被験者の被ばく線量を、腕に入射するX線エネルギーと骨および軟組織におけるX線吸収割合から算定した。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 被験者の腕に入射するX線のエネルギーは $1.4 \times 10^{-8}$ [J]程度で腕の幅に比例する。
- (2) 被験者の腕に入射したエネルギーのうち骨及び軟組織で吸収される割合は、

骨密度及び臓器の厚さによって異なるが、概略5~10%、70~80%であった。

- (3) 骨及び軟組織の等価線量は、10~20 nSv、50~80 nSvであった。また、実効線量は、概略5 nSvであった。

骨密度測定装置は、東京都港区みなと保健所のものを使用した。また本研究では、同保健所の職員の骨密度測定の使用した。

骨密度測定装置の測定原理などについては、株式会社アロカ田部井俊明氏よりご教示いただいた。

田中義一郎氏のレポートは、放射線医学総合研究所企画室から便宜を得て入手した。

## 参考文献

- 1)厚生省大臣官房統計情報部；医療施設調査(1993、1999)。
- 2)飯田忠行、砂屋敷忠、滝川 厚、澤田昭三、小山 矩、田村典子、藤井茂久、古賀佑彦；骨密度測定における被曝線量測定、*RADIOISOTOPES*, 48, 577-583(1999)
- 3)草間朋子、藪内絵利子、甲斐倫明、別所遊子；放射線被曝を伴う骨量測定法による患者・被験者の線量測定、*医学のあゆみ*, 170, 293-294(1999)。
- 4)E. BEZAKOVA, P. J. COLLINS and A. H. BEDDOE；Absorbed dose measurements in dual energy X-ray absorptiometry (DXA), *Br. J. Radiol.*, 70, 172-179(1997)。
- 5)C.F. NJEH, S.B. SAMAT, A. NIGHTINGALE, E.A. McNEIL and C.M. BOVIN；Radiation dose and *in vitro* precision in paediatric bone mineral density measurement using dual X-ray absorptiometry, *Br. J. Radiol.*, 70, 719-727(1997)。
- 6)アロカ株式会社；骨塩量測定装置DCS-600EXシリーズ技術資料(1997)。
- 7)ICRP；ICRP Publication 23, Report of the Task Group on Reference Man(1975)。
- 8)田中義一郎；Reference Japanese(Vol.1), Anatomical data, Safety Analysis Report, NIRS-M-85(1992)
- 9)ICRP；ICRP Publication 60, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection(1990)。

# ガラスバッジによるモニタリングサービス

寿藤 紀道

## 4. ガラス素子の蛍光スペクトル

放射線を照射した蛍光ガラス素子に紫外線を照射すると、放射線によって生じた蛍光中心が励起されてオレンジ色のRPLが発生することは前2～3項に記しました。実際に紫外線を照射した蛍光ガラス素子からは、このRPLに加えて放射線の照射とは関係のない蛍光も同時に発生します。この蛍光には、ガラス素子の構造上の歪み等に起因する素子固有の蛍光（ブレドーズ）と、素子表面の汚れ等に起因する蛍光があります。

従って、実際に測定される蛍光波形は、図4に示すように次の三つの各蛍光成分が複合したものとなります<sup>15), 19)</sup>。

ブレドーズ、汚れに起因する蛍光

400nm程度の波長ピークを示す青～緑色領域の蛍光で、1 μs以下で減衰するもの。

放射線に起因するRPL

600nm程度の波長ピークを示すオレンジ色領域の蛍光で、40 μs程度で減衰するもの。

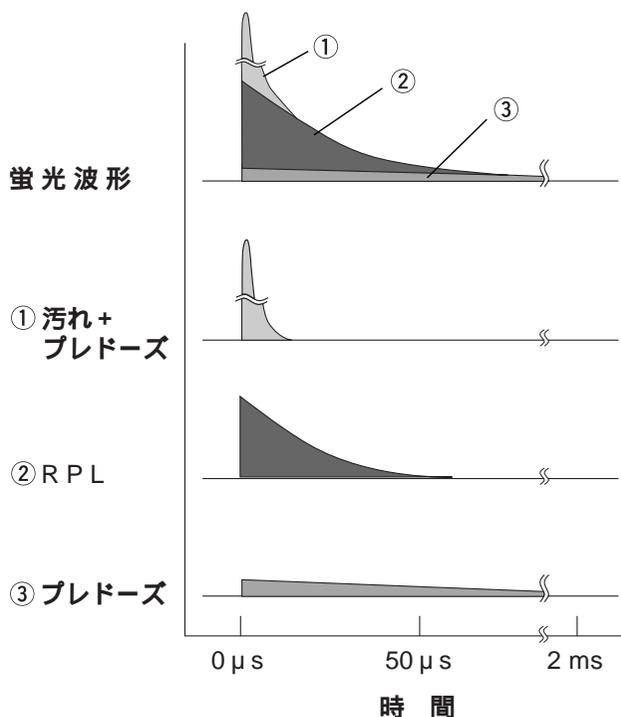


図4 蛍光ガラス素子から発生する蛍光波形

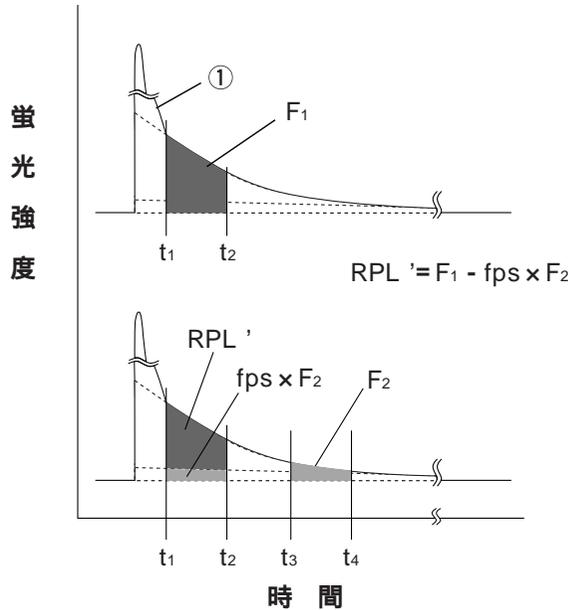


図5 ガラス素子の時間分割測光

プレドーズに起因する蛍光

プレドーズのなかの減衰時間の長い  
蛍光で、約1msまで延びるもの。

### 5 . リードによる蛍光量の測定

先に記したように、紫外線の照射によって発生する蛍光には、入射した放射線量に比例するRPLだけでなく、放射線以外の要因による蛍光が含まれています。従って、入射した放射線量を正確に測定するためには、この蛍光からRPL成分のみを精度よく分離測定することが必要となります。そのために、蛍光量の測定は、次に示すように窒素ガスレーザーからのパルス状紫外線と計測回路を同期させて測光時間を調整し、各蛍光の減衰時間が異なることを利用してRPL成分の支配的な領域を選定した時間分割測光を採用しています<sup>15), 19)</sup>。(図5参照)

プレドーズ(短時間減衰成分)と汚れに起因する蛍光( )の減衰を待ち、 $t_1$ から測定を開始し、 $t_2$ (RPLの減衰途中)までの蛍光量( $F_1$ )を測定(積分)

する。

$F_1$ にはプレドーズ(長時間減衰成分)が含まれるので、RPLの減衰を待って $t_3$ から $t_4$ までの蛍光量( $F_2$ )を測定(積分)する。

$F_2$ に一定の係数fpsを乗じて $F_1$ に含まれるプレドーズ(長時間減衰成分)を推定して差し引き、RPLに比例する成分RPL'を得る。

さらに、窒素ガスレーザーを用いたリードは、蛍光量を精度よく測定するために次の各機能を備え、低線領域まで安定した測定を可能にしています。

窒素ガスレーザーが連続発振することを利用して、短時間にガラス素子を繰り返し励起して複数回の測定を行い、その平均値を測定値として採用する。

予め大線量を照射したリファレンスガラスを備え、紫外線パルス毎のレーザー出力ばらつきをフォトダイオードにてフィードバック補正する。

標準照射にて校正された内部キャリブレーションガラスを用いた自動校正機能により、リーダ動作状態の安定化を図る。

### 第3章 ガラスバッジの特徴と線量算出方法

#### 1. ガラスバッジの開発コンセプト

GBは、従来のFBに替わる新たな個人線量計と位置づけられ、これに使用する蛍光ガラス線量計（GD-450）と自動読取装置（FGD-650）は、第1章に記したモニタリングサービスのコンセプトをはじめ、次の各コンセプトに基づき開発されています。

##### 1.1 GD-450の開発コンセプト

###### 1.1.1 基本コンセプト

個人線量測定の対象は、X・線、線及び中性子の各放射線とする。

蛍光ガラス線量計の測定範囲は、X・線及び線とし、中性子に対する相互作用の大きなフィルタの使用を避ける。（Cdフィルタ等、大量の捕獲線を放出する物質の使用を避け、中性子混在場におけるX・線等の算出精度を向上させる）

中性子の測定は、混在する他の放射線の影響を避けるため固体飛跡検出器による。（X・線及び線に有感な検出子を使用せず、これらとの混在場における中性子の算出精度を向上させる）

###### 1.1.2 X・線測定に係るコンセプト

X・線の測定エネルギー範囲は、10keV～10MeVとする。

[理由]

低エネルギーX線発生装置として使用されるものは、乳癌診断用のマンモグ

ラフィー及び分析用X線装置等が代表的なものであり、これらの装置から発生するX線は10keV台の実効エネルギーを有している。

高エネルギーX・線の発生源としては、リニアック等の医用加速器、研究用の各種大型加速器、<sup>16</sup>N等による高エネルギー線等々があるが、形状に制約の多い個人線量計では、低エネルギー領域から10MeVを超えるエネルギー領域までの測定を可能とするフィルタを組み込むことが難しい。

基本特性データを取得する際、各エネルギーの線量標準としては、10keV～10MeV（6MeV）の範囲から外れたX・線の入手が難しい。

###### 1.1.3 線測定に係るコンセプト

線の測定エネルギー範囲は、0.3MeV～3MeVとする。

0.5MeV以上の線に対する検出下限は、X・線の10倍以内とする。

（但し、校正基準線源（<sup>90</sup>Sr-Y）に対する検出下限は、0.1mSv以下とする。）

[理由]

線被ばくが想定される業務には、密封線源または非密封線源の直接的な取扱い、放出核種の付着した機器等の点検・除染、核燃料物質の取扱い等がある。一般的にこれらの線源に最も近接するのは指先であることが多いが、手袋及び着衣（防護衣）等により皮膚が覆われており、顔面（頭部）以外の皮膚が直接露出することは少ない。顔面の皮膚は、線に対して最も露出しやすい部位と考えられるが、指先に位置する放出核種からは60cm程度の距離を保つことができる。従って、60cmの空気層と皮膚不感層を考慮すると0.3MeV程度以下の線は、基本

的に無視できると考えられる。  
指先等、放出核種に近接する部位は、一般的に手袋及び着衣（防護衣）等で保護されており、これらによる線の遮蔽効果を考慮すると、0.5MeV程度以下の線は殆ど寄与しないと考えられる。

以上の観点から、個人線量計としての線検出下限エネルギーとして0.3MeVを、0.5MeV以上の線に対する検出下限はX・線と線における年度の違い（10倍）を考慮して0.5mSv以下に、それぞれの開発目標値として設定した。（X・線の報告下限は0.1mSvであるが、数値を丸める前の実質的な検出下限は0.05mSv）

#### 1.1.4 中性子測定に係るコンセプト

中性子の測定は、全てWNPを使用するものとし、熱中性子から速中性子の全エネルギー領域の中性子に対する直接的なモニタリングを可能とすることで、中性子に係るモニタリング精度を向上させる。

X・線及び線に感度を有さないWNPを使用することにより、これらの放射線との混在場における中性子線量の算出精度を向上させる。

#### [理由]

FBにおける中性子測定では、熱中性子領域（0.025eV～0.6eV）と速中性子領域（0.5MeV～15MeV）の中性子しか測定することができず、その中間領域に存在する多くの中性子（0.6eV～0.5MeV）に関する情報を直接把握することが不可能であった。従って、全中性子に係る個人線量の把握には、各中性子場のエネルギー分布及び混在する線量との比率（ $1/n$ 比）等を予め把握し、個人線量計から得られる一

部のエネルギー領域の中性子に関する測定値及び線量等に基づく、間接的なモニタリングによる評価が必要とされた。

FBによる熱中性子測定は、線等に感度を有するフィルムの黒化を利用する。しかし、中性子場の殆どは線との混在場であり、中性子の測定に際しては線等が、また、線等の測定に際しては中性子が、それぞれ影響を及ぼし合い、お互いの測定精度に影響を与えることが多い。また、速中性子測定に使用する原子核乳剤（中MPフィルム）は、エネルギー依存性が非常に大きく正確な線量把握をより難しくしていた。

中性子測定用の個人線量計を提供する立場としては、測定精度及び評価の複雑さ等を考慮し、間接的なモニタリングによる線量評価から直接的な線量測定に基づく評価への切り替えを目指してきた。

以上の観点から、GBによる測定サービスに際しては、中性子測定にWNPを使用することで直接的なモニタリングを可能とし、熱中性子による捕獲線を大量に放出するCdフィルタ等を不要にすることで、同時にX・線及び線の測定精度の向上を図る。

#### [参考]

従来のFBとGB（WNP）において測定可能な中性子のエネルギー範囲を、参考として図6に示す。

#### 1.2 FGD-650の開発コンセプト

##### 1.2.1 リーダ機能に係るコンセプト

ガラス素子自身のIDと装着者（ラベル）IDに二次元コードを使用し、蛍光量測定時に両IDを同時に読み取り、測定データと装着者を即座に紐付けする。

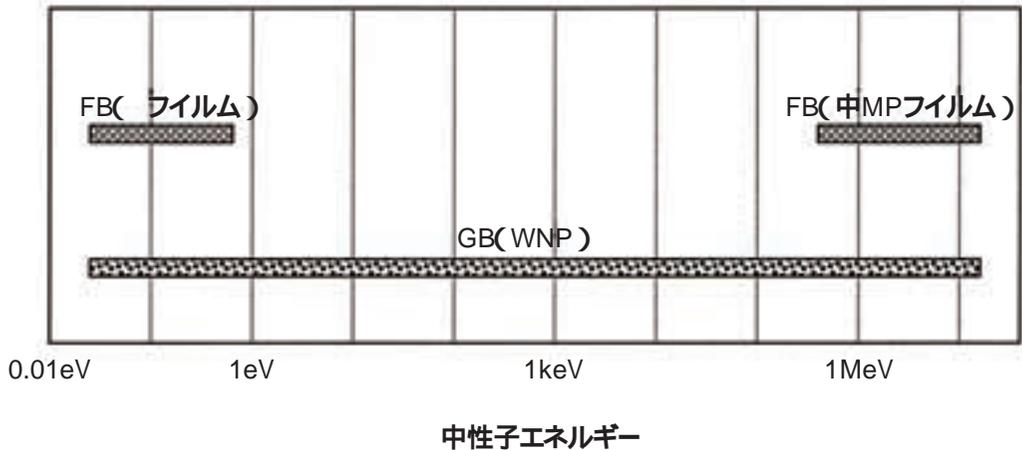


図6 GBとFBにおける中性子測定エネルギー範囲

紫外線ビーム出力（密度）の向上を図り、従来品と同様の低線量レベル測定値の安定性を維持する。

2000個のGD-450の同時装荷と高速測定を可能とする。

[理由]

測定と同時に装着者（のID）と測定値（ガラス素子ID）をマッチングさせることにより、以後の線量算出から報告書作成迄の全工程におけるデータ取り扱いに関するミスを防止し、報告値の信頼度を確保する。

ガラス素子の単位体積あたりの蛍光発生量を増加させ、より少ない有効体積から従来品と同等量の蛍光発生を見込むことで、線量計自身の小型化を可能とする。

大量のガラス素子を同時に装荷することで、自動運転（読み取り）比率を向上させて測定業務の合理化を図る。

1.2.2 データ処理に係るコンセプト

各読取装置は、装置の運転・管理のための制御用パソコンを備えた測定データ出力端末として機能させ、測定され

た蛍光量に基づく個々の線量算出(演算処理)は全てサーバコンピュータにて行う。

各読取装置からは、蛍光発生量に関する測定データだけでなく、読取装置の動作状況に関する各種管理データを併せて出力させる。

[理由]

測定サービス機関では、複数台の読取装置を同時に運用して大量の線量計を測定する必要があり、線量算出の信頼度を確保するために各測定データ並びに線量算出アルゴリズム等の一元管理を可能とする。

測定時のリーダ動作状況等の健全性を確認し、測定データの信頼度を確保する。

(続)

【参考文献】

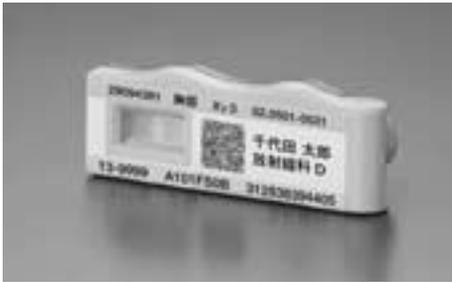
- 19) E. Piesch, B. Burgkhardt :  
 Photoluminescence dosimetry : the  
 alternative in personnel  
 monitoring, RADIOPROTECTION  
 Vol.29 No.1, 39-67 ( 1994 )

# ガラスバッジの 新しいラベルデザインのご案内

昨年度は「フィルムバッジ」から、次世代の被ばく線量測定器の「ガラスバッジ」に全面的に切り替えをさせていただきましたが、おかげさまで、完全にスムーズな処理が行えるようになりました。今後、「より正確」、「よりスピーディ」、「よりフレンドリー」な「ガラスバッジ」と「ワイドレンジニューピット」をご使用者皆様へご提供し、放射線安全に

お役に立てるよう努めてまいります。今後ともなお一層のご愛顧とご援助を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

より良いサービスの一環として、本誌7月号の「サービス部門からのお願い」欄でもご紹介しました通り、8月ご使用分のガラスバッジからラベルが変わりますので、重ねてご案内申し上げます。

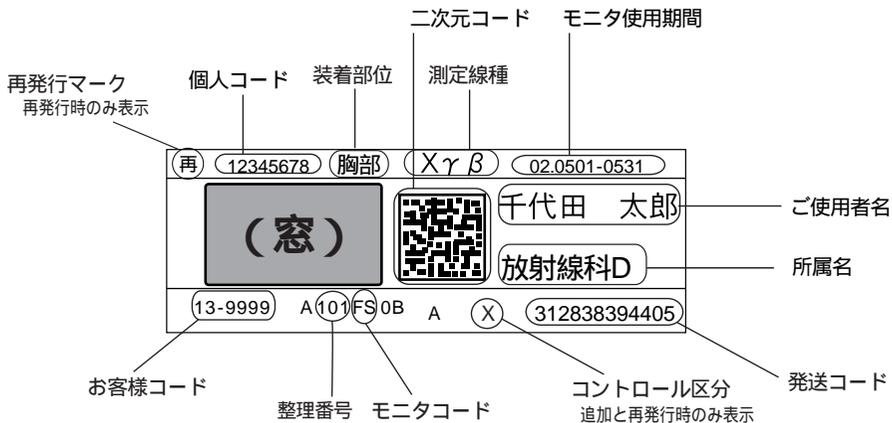


G 型ガラスバッジ

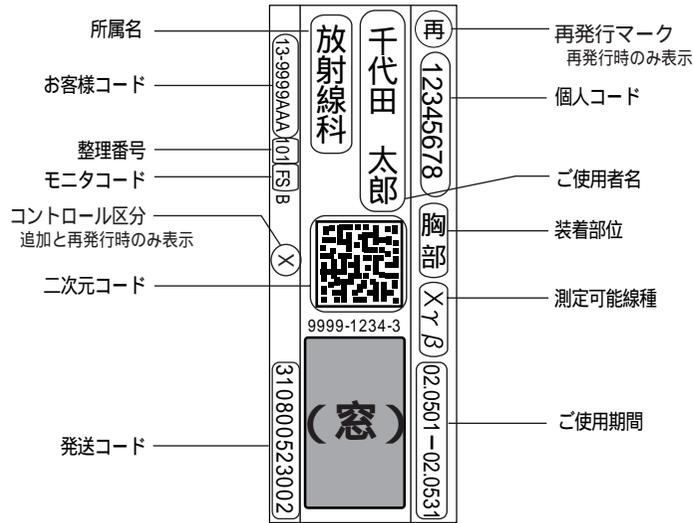


G 型ガラスバッジ

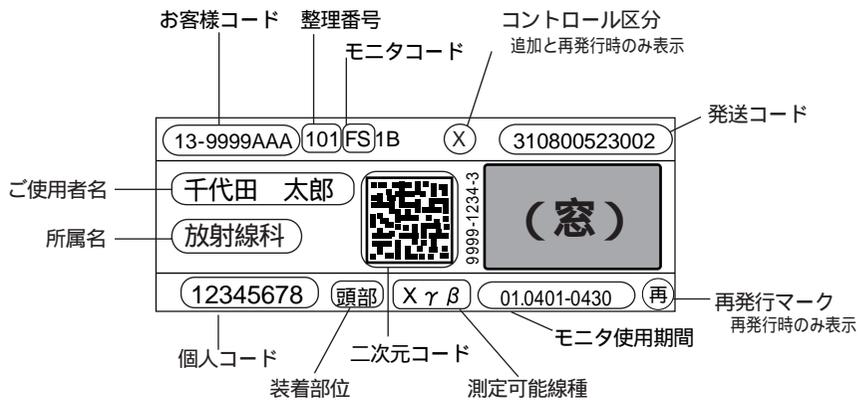
## モニタラベル (標準タイプ)



## モニタラベル (縦書タイプ)



## モニタラベル (不均等用タイプ)



テクノルコーナー



## 製品紹介

### ガラスバッジによる 二次元バーコード式 入退室システム

アイソトープ企画グループ 木村 敦

ガラスバッジによる二次元バーコード式入退室管理システムは、個人線量計がフィルムバッジから、ガラスバッジに移行する中で、ガラスバッジに対応したシステムとして構築されたシステムです。(アロカ製)

種々のチェック機能は、他の入退室システムのラインナップ と同等で、放射線管理区域への入室者の必要条件チェックや運用上の用件をサポートする形でシステムを導入する事が出来ます。

また、ガラスバッジを個人IDとして使用する事により、バッジの不携帯による入室を完全に排除する事ができ、退室時にはハンドフットクロズモニタとの連動により



CRA-1720

汚染検査によるチェックを実施し、汚染の無い事を確認し退室させるとする設定で、汚染の拡大防止が徹底出来ます。本システム導入により個人被ばく管理レベルを飛躍的に向上させる事が出来ます。

磁気カード方式

非接触方式

一次元バーコード方式

指紋方式

テンキー入力式

(アロカ製入退室管理システム)

## 仕 様

### IDリーダー

IDカード : 2次元バーコード方式  
(QRコード)  
(株)千代田テクノルガラス  
バッチ線量計に印刷の  
QRコード読取り可能  
ガイダンス機能 : LED表示およびブザー音  
電源 : DC24V

### 制御装置

接続リーダー数 : 標準 最大16台  
(ユニットを追加することにより最大32台まで接続可能)  
電気錠制御 : DC24V及び無電圧接点  
登録データ : 3000件  
(登録は全て中央監視装置より行います)  
履歴データ : 5000件

## 機 能

### 1) 表示機能

中央監視装置においては、管理区域の入室状況を表示します。

### 2) 報告書作成機能

日報・月報・期間報を表示及び印刷出来ます。

日報上の不正データ(入退のいずれかのデータ欠落又は長時間在室)の修正が出来ます。

報告書の表示・印刷は、ゲート(管理区域)別、所属別に行えます。

### 3) 登録機能

中央監視装置において、施設利用者の氏

名、ID番号、立入りゲート(管理区域)の登録・変更・削除が行えます。

利用者登録数 3000人

曜日別に制限時間の設定が行えます。また、カレンダーを設定する機能を有し、休祭日の制限も行えます。

登録者別に時間外立入りの設定が行えます。

### 4) 制御機能

電気錠(自動ドア)の制御が行えます。

入室の判定は、登録データの有効期限等を確認することにより行います。

退室の判定は、ハンドフットクロゾモニタによる汚染検査結果により行います。

サービス部門からのお願い

“速報サービス”をご利用ください

「線量を少しでも早く知りたい!」というお客様のご要望にお応えするサービス、それが“速報サービス”です。

手続きは簡単。

基準線量をご登録ください。

基準線量以上の線量が算出されましたら、速やかにFAXにてご報告申し上げます。

放射線障害予防規定などでスクリーニングレベルを設定されているとき、放射線業務従事者の受けた線量を早く知りたいときに便利です。

詳しくは、最寄の弊社営業所までご連絡ください。

| ** 速報リスト **                           |        |       |    |           |              |              |               |         |          | 算定日..02/07/10                    | PAGE.. 39 |     |      |
|---------------------------------------|--------|-------|----|-----------|--------------|--------------|---------------|---------|----------|----------------------------------|-----------|-----|------|
| 名称                                    | 千代田テクノ |       |    |           | ☆ 連絡1 FAX    | 03-5803-4890 |               |         |          | 133408                           | C         |     |      |
| 所属                                    | 担当者    | 職     |    | ☆ 連絡2 TEL | 03-3816-5210 |              |               |         |          |                                  |           |     |      |
| 今回返却されたご使用者の中で基準線量を越えた方を次の通りご報告いたします。 |        |       |    |           |              |              |               |         |          | < 基準線量 HE 0.10 mSv HT 0.10 mSv > |           |     |      |
| お客様コード                                | 整理NO   | ご使用者名 | 性別 | 部位        | モニタ          | 測定日          | 使用期間          | 測定 H1cm | H70μm 算出 | HE                               | 赤晶体       | 皮肉  | 線量測定 |
| 13-9999                               | C 115  | 千代田太郎 | 男  | 頭         | FS           | 020708       | 020601-020630 | 0.1     | 0.1      |                                  |           |     |      |
| 13-9999                               | C 115  | 千代田太郎 | 男  | 胸         | FS           | 020708       | 020601-020630 | 0.1     | 0.1      | 0.1                              | 0.1       | 0.1 |      |

編集後記

日韓共催のワールドカップが開催され、わが日本イレブン、トルシエ監督のもと中田英寿選手を中心にベスト16に入り、最終の得点成績では9位にランクされるほどの大活躍をしました。皆さんの職場ではどのような盛り上がりでしたか?この大会がこれほど国民全体、いや世界全体のお祭りであることを改めて認識しましたが、気がついた時は既に日本がトルコに惜敗した後でした。4年後のドイツ大会には、5度目のワールドカップにキスをしたブラジルに対抗できるよう、ジーコ率いるニュージャパンチームの躍進を期待したいものです。その時には、娘と一緒に国立競技場で声を嗶らして応援し、祭りを楽しみたいと思っています。

今月号では、日本原子力産業会議の町常務理事に寄

稿していただき「原子力の中の放射線利用」というテーマで、放射線滅菌、放射線育種、放射線治療、放射線照射などの幅広い利用を具体的にご紹介していただきました。

梅雨に始まり、終わりの梅雨で閉会したワールドカップでしたが、日本、韓国ともこの気候が、絶大なサポートに次いで味方したのは間違いありません。しかしそれにしても、このうっとおしい気候の中で体調を維持するのは現地人の私たちでも容易ではありません。台風も来ているようなので一緒に連れ去ってほしいものです。

今月から担当が替わりました。前任者同様に何卒よろしくお願い申し上げます。

(宮本)

FBNews No.308

発行日 / 平成14年8月1日

発行人 / 細田敏和

編集委員 / 宮本昭一 久保寺昭子 佐々木行忠 寿藤紀道 藤崎三郎

福田光道 大登邦充 田中真紀 池田由紀

発行所 / 株式会社千代田テクノル 線量計測事業部

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7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

営業所 / 東京 TEL 03-3816-2245  
FAX 03-5803-4890

大阪 TEL 06-6369-1565  
FAX 06-6368-2057

名古屋 TEL 052-331-3168  
FAX 052-339-1180

福岡 TEL 092-262-2233  
FAX 092-282-1256

仙台 TEL 022-224-1113  
FAX 022-217-8796

新潟 TEL 0257-22-3334  
FAX 0257-20-1022

札幌 TEL 011-733-1501  
FAX 011-733-1502

広島 TEL 082-261-8401  
FAX 082-261-8448

モニタリングサービスのお問い合わせは上記の営業所で承っております。  
- 禁無断転載 - 定価400円(本体381円)