



Photo M. Abe

Index

実用的なエネルギー分解CTのためのtransXend検出器 … 神野 郁夫	1
中国とつきあう……………町 末男	6
平成25年度 個人線量の実態 ……………	7
土壌減容をめざす土壌選別装置 (CSSU) 日仏 4 社による共同開発 ……………	16
[サービス部門からのお知らせ] 報告書発送用の封筒デザインが変わりました……………	19

実用的なエネルギー分解CTのための transXend検出器



神野 郁夫*

1. 諸言

ミシガン大学名誉教授・故Glenn F. Knollによる“Radiation Detection and Measurement”は名著の誉れ高く、2010年に第4版が刊行された。日本においては、旧日本原子力研究所の故阪井英次博士と木村逸郎京都大学名誉教授が第1版から3版まで翻訳書「放射線計測ハンドブック」を出版した。筆者は第4版の翻訳者として名を連ねたため、中村尚司東北大学名誉教授から本稿の依頼を受けた次第である。

Knoll教授の著作には、個々の放射線検出器の様々な性質が記述されているが、これらを複合した検出器システムに関する言及はほとんどない。今後、検出器システムに関する解説を纏めることも、一つの視点と思う。

筆者はX線を電流測定し解析によりX線のエネルギー分布を求めるtransXend検出器を開発し、エネルギー分解コンピュータ断層撮影(CT)の可能性について研究を行っている。検出器システムの一つとして、本稿ではこのtransXend検出器について解説する。

2. X線CT

現在、実用されているX線CTにおいては、被検体を通過したX線を検出器で電流値として測定している。すなわち、X線のエネルギー情報を利用していない。エネルギーが低いX線は物質を通過する際に吸収されやすいため、ある加速電圧の白色X線が被検体を通過したのちには、白色X線の平均エネルギーが上昇する。この現象をビームハードニング効果と言う^[1]。造影剤に用いるヨウ素はK吸収端が33.2 keVにあるので、ビームハードニング効果が起こると、ヨウ素の吸収に敏感なX線数が減少する。このため、被検体が大きい場合、ヨウ素造影剤を用いた癌の観察が困難となる。このような事象を回避するためには、X線のエネルギー情報を用いたエネルギー分解CTを行うことが望ましい。

個々のX線のエネルギーを測定すればエネルギー分解CTができる。しかしCT測定においてX線管から放出されるX線数はおよそ $10^9 \text{ mm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ であり、人体を通過したのちでも $10^6 \text{ mm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ と評価される。X線検出器における電荷収集過程に要する時間を考慮すれば、このような計数率を達成することは容易ではない。

* Ikuo KANNO 京都大学大学院 工学研究科 原子核工学専攻 教授

3. transXend検出器

3.1 概要

計数率に無関係にX線のエネルギー情報を得るため、筆者はtransXend検出器を開発した。transXend検出器とは、図1に示すようにX線の進行方向に複数のX線検出器（要素検出器）を配置した検出器システムであり、X線を電流として測定する^[2]。要素検出器の母材には、半導体、シンチレータなどが使用できる。

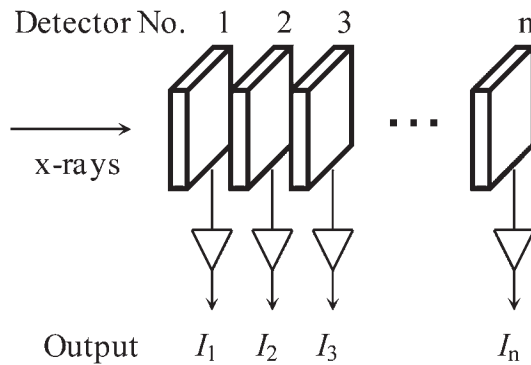


図1 transXend検出器の概念図。

低エネルギーのX線は前方の要素検出器で吸収され、後方の要素検出器には到達できない。一方、高いエネルギーのX線は、前方の要素検出器でも吸収されるが、一部は後方の要素検出器に到達し吸収される。X線のエネルギーと要素検出器の位置の関数として、応答関数 R_{ij} を求めておくことで、測定電流値 I_i から入射X線のエネルギー分布 Y_j を求めることができる。要素検出器数を m 、エネルギー範囲設定数を n として、この関係式を以下に示す。

$$\begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdots & R_{1n} \\ R_{21} & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & \cdot \\ R_{m1} & \cdot & \cdot & R_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ Y_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

解析に用いるエネルギー範囲の設定は任意である。また、一つの測定結果に対し、設定エネルギー範囲を変更して解析を行うことができる。式(1)をSAND-IIなどのアンフォールディングコードを用いて解くことにより、X線エネルギー分布が得られる^[3]：逆行列を用いて式を解くと、物理的に意味のない負のX線数となることがあるが、SAND-IIは負の解を避けることができ、また、 $m < n$ の劣決定問題でも解が得られる。

正常組織よりも癌組織に集中しやすいヨウ素造影剤を検出するには、ヨウ素のK吸収端より高いエネルギー範囲のX線を利用して画像を作成する。この結果、被検体の大きさ、加速電圧に依存しない画像、CT値を得ることができる。

3.2 応答関数

応答関数を取得するために、既知の厚さの物質を透過したX線を電流測定する。物質はCT測定用ファントムに含有されるものを用いる。人体のCTを想定する場合には、軟組織（アクリルで代用）、骨（アルミニウム）およびヨウ素造影剤（希釈したヨードチンキ）を組み合わせた被検体を作成する。手荷物検査などの工業応用の際には、いくつかの基準とする物質を用いた測定を行い、測定値に合う物質を推定する、あるいは計算で多数の物質について応答関数を求める、という方法がある。得られた測定電流と計算で求めたX線のエネルギー分布に合うように応答関数 R_{ij} を求める。

応答関数は、個々の要素検出器ごとに大きく変化することが望ましい。同じ母材の要素検出器のみでtransXend検出器を構成した場合、各要素検出器に入射するX線スペクトルは、前方の要素検出器の数に依存し徐々にしか変化しない。従って、各要素検出器の応答関数は、類似したものとなる。この場合、得られる解は初期推定X線エネルギー分布に大

きく依存する。正しい解を得るためには、解の候補となるエネルギー分布を多数用意するスペクトルサーベイ法を利用するのが良い。

応答関数に変化を持たせるためには、要素検出器の母材を変える、あるいは要素検出器に吸収体を付加する、という方法がある。この結果、アンフォールディング過程における収束が速くなり、また初期推定エネルギー分布に依存しない解が得られる^[4]。

4. transXend検出器の応用

4.1 物質識別

吸収体を要素検出器の間に挿入するなどして応答関数を変化させると、要素検出器の数を減少させても数が多い場合と同様の良い結果が得られる。一例として、Si (Li) 要素検出器を3式用い、3番目のSi (Li) 検出器の前に厚さ58 μ mの錫吸収体を挿入したtransXend検出器を用いた測定結果を図2に示す。直径30 mmのアクリルファントムには、直径5 mmのヨウ素領域と直径2 mmのカルシウム領域がある。電流CTの結果では、大小の穴に入っている物質の区別がつかない。しかし、表1に示すエネルギー範囲ごとのX線でエネルギー分解CT画像を再構成すると、X線減弱のエネルギー依存

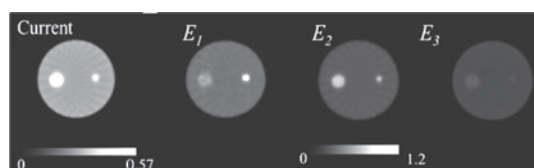


図2 電流CT画像 (Current) とエネルギー分解CT画像 ($E_1 \sim E_3$)。各エネルギー範囲は表1に示す。

表1 エネルギー分解CTの設定エネルギー範囲 (keV)

E_1	E_2	E_3
15.0 - 33.0	33.0 - 40.0	40.0 - 120.0

性が顕著に表れる。小さい穴では、エネルギー範囲 E_1 でCT値が大きく、エネルギーの関数としてCT値は単調減少する。一方、大きな穴は、 E_2 においてCT値が最も大きく、 E_1 および E_3 ではCT値が小さい。これより、大きな穴の物質は E_2 において吸収端を持つ、と推定できる^[5]。

このような物質識別は、加速電圧を例えば60と120 kVpとに変化させ、CT測定を2回行うデュアルエネルギーCTでも実施可能である。しかし、被ばく量が増加するという欠点がある。また、それぞれの加速電圧のX線エネルギースペクトルにおける平均X線エネルギーの変化は加速電圧ほど大きくはなく、35.0 keVおよび52.5 keVである。少ない被ばく量、大きいエネルギー変化という点で、エネルギー分解CTに利点がある。

4.2 実効原子番号測定

2種類の異なるエネルギーの単色X線を用いてCT測定を行うことで、実効原子番号を求めることができる^[6]。これは、異なる2つのエネルギーにおいてCT測定を行いその物質の線減弱係数を求め、線減弱係数の比が原子番号の関数であることを利用している。しかし、単色X線の使用には放射光施設が必要であり、病院などで利用することはできない。そこで、transXend検出器の解析エネルギー範囲を狭め、擬似的な単色X線とすることで実効原子番号を求めることが可能ではないか、と実験を行った。用いたファントムは直径20 mmの円柱アクリルであり、中心に直径2 mmのアルミ棒を挿入し、CT測定を行った。比較のため、管電圧60、120 kVpの2色白色X線を用いたデュアルエネルギーCTも行った。解析に用いたX線のエネルギーは、35.0および52.5 keVであり、これは60、120 kVpの白色X線の平均エネルギーに相当する。設定エネルギー範囲は0.5 keV幅としたが、のちの解析で5 keV程度

に広げてもほぼ同じ結果が得られることが分かった。

米国National Institute of Standard and Technologyのテーブルから作成した線減弱係数比と実効原子番号の関係^[7]と実験で得られた結果を図3に示す。また、エネルギー分解CTおよびデュアルエネルギーCTで得られたアルミ、アクリルの実効原子番号を表2に示す。文献値から得た単色X線CTによる水の実効原子番号も示す^[6]。

デュアルエネルギーCTでは、アクリルの実効原子番号は文献値と相対誤差0.6%であるが、

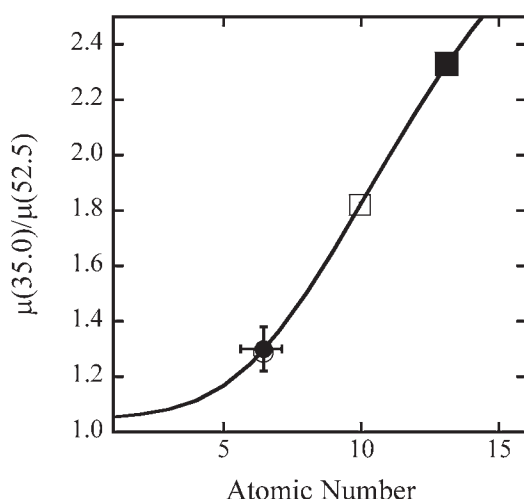


図3 線減弱係数比と実効原子番号。実線は文献値^[7]から二つのエネルギーのX線に対する線減弱係数を求め、比を計算した結果。アクリル(●、○)とアルミ(■、□)は実験で求めた線減弱係数比。黒はエネルギー分解CT、白はデュアルエネルギーCTで求めた結果。

表2 エネルギー分解CTおよびデュアルエネルギーCTで求めたアクリルとアルミの実効原子番号(Z_{eff})と相対誤差(RE)。単色X線で求めた水の実効原子番号も示す^[6]。

CT	エネルギー分解		デュアルエネルギー		単色	
	Z_{eff}	RE (%)	Z_{eff}	RE (%)	Z_{eff}	RE (%)
アルミ	13.1 ± 0.08	0.8	9.96 ± 0.03	23	—	—
アクリル	$6.46^{+0.66}_{-0.84}$	0.2	6.43 ± 0.21	0.6	—	—
水	—	—	—	—	7.39 ± 0.04	2.0

アルミのそれは23%である。X線がアルミを通過するとビームハードニング効果によりX線の平均エネルギーが上昇し、ファントム入射前の値と大きく異なるためである。一方、エネルギー分解CTでは、アクリル、アルミともに1%以内の誤差で実効原子番号が得られた。2種単色X線で水の実効原子番号を求めた結果の誤差は2%である。参考文献[6]のファントムが大きいことを勘案して、白色X線を用いたエネルギー分解CTは、2種単色X線CTに遜色ない結果が得られた、と考える^[8]。

4.3 第三世代CTへの応用

これまで述べた実験は、X線をペンシルビームにコリメートし、1台の検出器で測定する、第一世代CT測定で行った。この方法では、ファントムをスキャンし、次にファントムの角度を変え、スキャンする、という手続きを繰り返す必要があり、測定に長時間を要する。エネルギー分解CTを将来、人体に適用するには、第一世代CTは不向きである。

そこで、人体用CTに用いられている第三世代CTに対応させる研究を行っている。このため、2次元検出器とコーンビームX線を用いる。図1に示すtransXend検出器をx-y方向に2次元配置することも原理的に可能であるが、読出し回路が膨大な数となり、現実的ではない。そこで、実用されているフラットパネル検出器を利用する手法を開発した。この詳細は、2014年秋の原子力学会、また今後執筆する論文に委ねる。

5. まとめ

エネルギー分解CTへ向けた研究は多々あるが、その有用性については実証実験が始まった段階と考えている。今後、さらにtransXend検出器を用いた応用を追及するとともに、我々の実験室で得られた結果を人体へも適用すべく、病院で人体用X線CT装置を用いた研究を行っていく予定である。

謝 辞

CT画像再構成プログラムをご提供いただきました東北大学の人見啓太郎准教授、名古屋大学の渡辺賢一准教授に感謝いたします。本研究の一部は、科学研究費補助金、鈴木謙三記念財団法人医科学応用研究財団のご援助を頂いて行われました。

参考文献

- [1] R. A. Brooks, G. Di Chiro, Beam Hardening in X-ray Reconstructive Tomography, *Phys. Med. Biol.*, 21, 390-398 (1976).
- [2] I. Kanno, R. Imamura, K. Mikami, A. Uesaka, M. Hashimoto, M. Ohtaka, K. Ara, S. Nomiyama, H. Onabe, A Current-mode Detector for Unfolding X-ray Energy Distribution, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 45, 1165-1170 (2008).
- [3] W. McElroy, S. Berg, T. Crocket, G. Hawkins, A Computer Automated Iterative Method for Neutron Flux Spectra Determination for Foil Activation, *AFWL-TR-67-41* (1967).
- [4] I. Kanno, Y. Minami, R. Imamura, H. Shimazaki, K. Fukuda, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara, H. Onabe, Advantages of Response Function Change in a transXend Detector with Various Scintillators as Substrates of Segment Detectors, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48, 1377-1384 (2011).
- [5] I. Kanno, R. Imamura, Y. Yamashita, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara, H. Onabe, Using Energy-resolved X-ray Computed Tomography with a Current Mode Detector to Distinguish Materials, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 53, 056601 (2014).
- [6] M. Torikoshi, T. Tsunoo, M. Sasaki, M. Endo, Y. Noda, Y. Ohno, T. Kohno, K. Hyodo, K. Uesugi, N. Yagi, Electron Density Measurement with Dual-energy X-ray CT using Synchrotron Radiation, *Phys. Med. Biol.*, 48, 673-685 (2003).
- [7] J. H. Hubbell, S. M. Seltzer, Tables of X-ray Mass Attenuation Coefficients and Mass Energy-absorption Coefficients from 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 Additional Substrates of Dosimetric Interest. The Physical Measurement Laboratory, The National Institute of Standard and Technology (2010).
- [8] Y. Yamashita, M. Kimura, M. Kitahara, T. Hamaguchi, I. Kanno, M. Ohtaka, M. Hashimoto, K. Ara, H. Onabe, Measurement of Effective Atomic Numbers using Energy- resolved Computed Tomography, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 51, 1256-1263 (2014).

著者プロフィール

福島県二本松市出身。旧・日本原子力研究所勤務の後、平成3年から京都大学へ奉職。平成20年より現職。平成22-23年に応用物理学会放射線分科会幹事長を務めたのち、現在、再び幹事。放射線分科会内に「放射線物理学研究会」および「医療放射線技術研究会」を立ち上げ、前者は日本学術振興会「放射線科学とその応用第186委員会」と発展した。また「放射線計測フォーラム福島」を開催し、原発事故に関する放射線計測分野の情報の共有・交換を目指している。京都を愉しむことを趣味とし、鴨川や御所などで昼から宴会をする。また、週末の朝に約1時間、賀茂川をジョギングしている。文化を伝えるため、夏の学校で素人狂言を披露することもある。

中国とつきあう

元・原子力委員 町 末 男



華中科技大学で講演

中国は何回も訪ねているが、武漢は初めてである。上海から1時間半ほど西に飛んだところにある、人口1,000万の中国中部の最大の都市である。

その武漢にある華中科技大学を初めて訪問した。元・学長で現在は教授のファン（Fan）博士の招聘によるものである。教授はこの大学の出身であり、元・中国原子力研究所（CAEI）の理事長で、華中科技大学に電子加速器センターを設置する計画を進めている。中国で深刻化している「環境汚染」の抑止技術の開発に加速器を役立てようとしている。

華中科技大学は日本ではあまり知られてないかもしれないが、中国では清華大学に次ぐ優れた理系の大学である。学生数は5万人で、多くの有用な人材を創りだしている。

今回の招聘では2日間で華中科技大学と湖北科技学院で4つの講演をすると共に、加速器利用と原子力利用の将来について意見交換した。

2日目の最後には図らずも「華中科技大学顧問教授」の称号をディン学長から直々に授与された。授与式の後には、副学長など大学の要人を招いて学長主催の暖かい祝宴を開いて頂き、話がはずんだ。

科学技術が中国発展の基盤

科学技術が国の発展を支え、貧困をなくすための基盤であるという共通の考え方が、国境を超えて、科学者を結び付けている事を痛感した。このような共通の理念を大事にして、日中が協力しあって世界の平和的発展に貢献したいものである。

1981年IAEAの課長時代に小さな上海空港に降りたのが、私の初めての中国訪問であった。上海科技大学の馬教授の招きによるものだった。

街では殆どの人が青い国民服を着て自転車で走っていた。ご馳走になった中国料理も質素だったと記憶している。それから33年後のこの中国の発展ぶりには目を見張るものがある。日本もこの発展に貢献してきたが、多くの中国人の努力が実を結んだのである。



顧問教授の称号の授与式(中央右がDing学長、左が筆者)

進む中国の国際化

国際化の勢いも強い。私は全て英語で講演したが、かなり良く理解してくれ、質問も活発だった。子供たちは6歳から英語を勉強し始めるといふ。英語の話せる中国人の数はかなりの速さで増えている。

中国がアフリカ支援に熱心な事は良く知られているが、国際機関での存在感も増している。筆者が事務次長をしていた時のIAEAには、中国人の事務次長がいたし、現在は中国人の部長2名、課長1名が頑張っていて存在感を示している。

課題も多い。PM2.5問題に見られるように環境汚染の防止は緊急な問題だし、増え続けるエネルギー消費に対応して、石炭火力が増え炭酸ガスの排出量は世界最大（24%）となっている。原子力発電の導入を急いでいるが、効果が出るのには十分ではない。更なる科学技術の発展に期待するところが大きい。日本は環境保護の技術の面などで、これからも中国を支援し友好的なWin-Winの関係を作っていきたい。
(2014年6月6日稿)

平成25年度

個人線量の実態

1. はじめに

本資料は、弊社の測定サービスに基づく、平成25年度の個人線量の実態の報告です。個人モニタで測定した、1cm線量当量、70 μ m線量当量から算定した実効線量と等価線量が集計してあります。

平成23年3月11日以降、福島第一原子力発電所事故による影響でバックグラウンドの値が高くなっている地域がありますが、業務上の被ばく線量をご報告させていただく観点から、これらの地域よりご返却されたモニタ等は、従来通りバックグラウンドを差し引いて個人線量を算定しております。

2. 用語の定義

- (1) 年実効線量 1個人が、4月1日から翌年3月31日までに夫々のカテゴリー内で受けた実効線量の合計 (単位 mSv)
- (2) 年等価線量 1個人が、4月1日から翌年3月31日までに夫々のカテゴリー内で受けた等価線量の合計 (単位 mSv)
- (3) 集団線量 集団を構成する全員の年実効線量、或いは年等価線量の総和 (単位 manmSv)
- (4) 平均年線量 集団線量を、集団を構成する人数で除した値 (単位 mSv)
- (5) 等価線量の実効線量に対する比の平均
集団等価線量を集団実効線量で除した値

3. 実効線量・等価線量の求め方

測定した線量当量から実効線量・等価線量を算定する方法の概略を示します。

なお、記号の意味は、次のとおりです。

H_E : 実効線量

H_L : 水晶体の等価線量

H_S : 皮膚の等価線量

H_{*P} : *…深さ1cmまたは70 μ mの線量当量

P…下記の部位を表します

基 : 基本部位 (男性は胸部、女性は腹部)

頭 : 頭部

胸 : 胸部

腹 : 腹部

大 : 体幹部の中で最大値を示した部位

MAX (.,.) : (.,.) 内のいくつかの線量当量のうちの最大のもの

3.1 均等被ばくとしてモニタリングをしている場合

$H_E = H_{1\text{cm基}}$

$H_L = \text{MAX} (H_{1\text{cm基}}, H_{70\mu\text{m基}})$

$H_S = H_{70\mu\text{m基}}$

3.2 不均等被ばくとしてモニタリングをしている場合

$$H_E = 0.08H_{1\text{cm頭}} + 0.44H_{1\text{cm胸}} + 0.45H_{1\text{cm腹}} + 0.03H_{1\text{cm大}}$$
$$H_L = \text{MAX}(H_{1\text{cm頭}}, H_{70\mu\text{m頭}})$$
$$H_S = \text{MAX}(H_{70\mu\text{m頭}}, H_{70\mu\text{m胸}}, H_{70\mu\text{m腹}})$$

3.3 末端部被ばくのモニタリングをしている場合
皮膚の等価線量のみが、次のようにかわります。

$$H_S = \text{MAX}(H_{70\mu\text{m頭}}, H_{70\mu\text{m胸}}, H_{70\mu\text{m腹}}) + H_{70\mu\text{m末端部}}$$

4. 対象とするデータ

弊社のモニタリングサービスの申し込みをされており、平成25年4月1日から平成26年3月31日までの間で1回以上個人モニタを使用された人の年実効線量および年等価線量を、集計対象データとしております。

注1) 個人が受けた線量でないと申し出のあったものは、除外しております。

注2) 個人が受けた線量でないにもかかわらずお申し出のないものは、含んでおります。

5. 集計方法

(1) 集計

各表の左欄に示すように1年間の実効線量の区分を設け、その区分に入る人数とその集団線量並びにそれぞれの百分率を表の同一の欄の内に示しました。ただし、「X (検出限界未満)」は、線量ゼロとして処理しました。測定上限は、個人モニタによって変わりますが、例えば「100超」は、100mSvとして集計してあります。

(2) 業種・業態の区分

医療関係の業態区分は、施設の名称により判断し、区分しました。ただし、「歯科」には、歯科医院と、その旨連絡のあった総合病院の歯科が含まれています。

「診療所」には、一般開業医、診療所および養護施設などが含まれています。

工業関係では、社名から非破壊検査業務と判別できる事業所またはその旨連絡のあった事業所のみ「非破壊検査」に分類し、他の事業所は、「一般工業」としました。

1個人が複数の業種・業態に属している場合、それぞれの業種・業態毎に集計しています。

例えば、Aさんが、4月に大学医学部で0.1mSv、5月から翌年3月の間に病院で0.5mSvの実効線量を受けた場合には、「研究教育」で0.1mSv：1人、「医療」で0.5mSv：1人、かつ「全体」では0.6mSv：1人となっています。(Table 1 a)

同様に、Bさんが大学病院で0.2mSv、一般病

院で0.7mSvの実効線量を受けた場合には、「大学病院」で0.2mSv：1人、「一般病院」で0.7mSv：1人、かつ「医療」では0.9mSv：1人となっています。(Table 2 a, Table 1 a)

(3) 職種の区分

職種区分は、申込書に記載された職名等により区分しました。

6. 集計結果

集計結果は、それぞれ以下の表に示します。

a表は、個人の年実効線量の分布および各線量区分における集団実効線量を示し、b表は年実効線量の平均値、年等価線量の集団の合計値を示しています。

年実効線量が50mSvを超えた人は、2人でした。

Table 1 a, 1 b 業種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 1 c, 1 d 業種別の個人年等価線量の分布と各線量区分における集団等価線量、等

Table 2 a, 2 b 医療関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 3 a, 3 b 医療関係の職種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等 (歯科を除く)

Table 4 a, 4 b 工業関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量、等

Table 5 モニタリング区分別の年実効線量、過剰被ばく人数と年実効線量、等価線量の平均値並びに等価線量の実効線量に対する比の平均

Table 6 最近5年間の個人線量の年度推移

Fig. 1 過去5年間の平均年実効線量 (業種別)

Fig. 2 過去5年間の平均年実効線量 (医療関係)

Fig. 3 過去5年間の平均年実効線量 (医療関係の職種別)

Table 6 の線量区分は、放射線同位元素等による放射線障害の防止に関する法律 (障防法) の「放射線管理状況報告書」と電離放射線障害防止規則 (電離則) の「電離放射線健康診断結果報告書」の線量分布の区分に合わせました。

Table 1 a
業種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人) 人数(%)
集団実効線量(manmSv) 線量(%)
(H.25.4.1～H.26.3.31)

年実効線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣 医 療		全 体	
X	135,739 0.00	75.06	35,857 0.00	86.89	41,828 0.00	96.09	6,918 0.00	96.49	219,529 0.00	80.72
0.10以下	10,133 1,013.30	5.60 1.89	2,752 275.20	6.67 4.06	713 71.30	1.64 6.02	87 8.70	1.21 2.94	13,662 1,366.20	5.02 2.21
0.11～0.20	5,310 1,062.00	2.94 1.98	531 106.20	1.29 1.57	229 45.79	0.53 3.87	34 6.80	0.47 2.30	6,094 1,218.79	2.24 1.97
0.21～0.30	3,553 1,065.90	1.96 1.99	268 80.40	0.65 1.19	129 38.70	0.30 3.27	19 5.70	0.26 1.93	3,961 1,188.30	1.46 1.92
0.31～0.40	2,661 1,064.40	1.47 1.99	161 64.40	0.39 0.95	73 29.20	0.17 2.46	18 7.20	0.25 2.43	2,911 1,164.40	1.07 1.88
0.41～0.50	2,120 1,060.00	1.17 1.98	164 82.00	0.40 1.21	57 28.50	0.13 2.41	11 5.50	0.15 1.86	2,351 1,175.50	0.86 1.90
0.51～0.60	1,755 1,053.00	0.97 1.96	124 74.40	0.30 1.10	37 22.20	0.08 1.87	11 6.60	0.15 2.23	1,929 1,157.40	0.71 1.87
0.61～0.70	1,558 1,090.60	0.86 2.03	115 80.50	0.28 1.19	39 27.30	0.09 2.30	5 3.50	0.07 1.18	1,716 1,201.20	0.63 1.94
0.71～0.80	1,348 1,078.40	0.75 2.01	74 59.20	0.18 0.87	41 32.80	0.09 2.77	8 6.40	0.11 2.16	1,470 1,176.00	0.54 1.90
0.81～0.90	1,244 1,119.60	0.69 2.09	71 63.90	0.17 0.94	32 28.80	0.07 2.43	4 3.60	0.06 1.22	1,349 1,214.10	0.50 1.96
0.91～1.00	1,166 1,166.00	0.64 2.18	56 56.00	0.14 0.83	25 25.00	0.06 2.11	7 7.00	0.10 2.37	1,253 1,253.00	0.46 2.03
1.01～2.00	7,085 10,368.50	3.92 19.34	395 575.70	0.96 8.50	171 260.50	0.39 21.99	21 29.10	0.29 9.84	7,673 11,235.10	2.82 18.16
2.01～3.00	3,011 7,490.50	1.66 13.97	190 481.70	0.46 7.11	74 183.00	0.17 15.45	11 28.30	0.15 9.57	3,285 8,181.70	1.21 13.23
3.01～4.00	1,514 5,295.30	0.84 9.88	113 396.30	0.27 5.85	38 132.30	0.09 11.17	6 21.00	0.08 7.10	1,672 5,847.90	0.61 9.45
4.01～5.00	858 3,857.70	0.47 7.20	72 324.90	0.17 4.80	17 77.90	0.04 6.58	1 4.40	0.01 1.49	949 4,269.20	0.35 6.90
5.01～6.00	498 2,737.40	0.28 5.11	49 272.90	0.12 4.03	12 66.10	0.03 5.58	1 5.80	0.01 1.96	560 3,082.20	0.21 4.98
6.01～7.00	353 2,294.70	0.20 4.28	42 274.30	0.10 4.05	8 52.90	0.02 4.47	2 13.40	0.03 4.53	405 2,635.30	0.15 4.26
7.01～8.00	235 1,766.80	0.13 3.30	36 269.30	0.09 3.98	2 14.90	0.00 1.26	0 0.00	0.00 0.00	273 2,051.00	0.10 3.32
8.01～9.00	181 1,539.25	0.10 2.87	30 256.60	0.07 3.79	2 17.00	0.00 1.44	1 8.90	0.01 3.01	213 1,813.45	0.08 2.93
9.01～10.00	126 1,204.70	0.07 2.25	21 198.20	0.05 2.93	2 19.30	0.00 1.63	0 0.00	0.00 0.00	149 1,422.20	0.05 2.30
10.01～15.00	264 3,189.20	0.15 5.95	68 847.70	0.16 12.52	1 11.10	0.00 0.94	1 12.10	0.01 4.09	335 4,072.70	0.12 6.58
15.01～20.00	72 1,234.80	0.04 2.30	31 535.80	0.08 7.91	0 0.00	0.00 0.00	1 18.00	0.01 6.09	104 1,788.60	0.04 2.89
20.01～25.00	29 637.70	0.02 1.19	14 309.70	0.03 4.57	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	43 947.40	0.02 1.53
25.01～30.00	18 497.60	0.01 0.93	11 294.20	0.03 4.34	0 0.00	0.00 0.00	2 53.60	0.03 18.13	31 845.40	0.01 1.37
30.01～40.00	7 236.90	0.00 0.44	21 742.10	0.05 10.96	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	28 979.00	0.01 1.58
40.01～50.00	4 168.90	0.00 0.32	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 40.10	0.01 13.56	5 209.00	0.00 0.34
50.00超過	1 307.30	0.00 0.57	1 50.50	0.00 0.75	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	2 357.80	0.00 0.58
合 計	180,843 53,600.45	100.00 100.00	41,267 6,772.10	100.00 100.00	43,530 1,184.59	100.00 100.00	7,170 295.70	100.00 100.00	271,952 61,852.84	100.00 100.00

Tabel 1 b

	医 療	工 業	研究教育	獣 医 療	合 計
平 均 年 実 効 線 量 (mSv)	0.29	0.16	0.02	0.04	0.22
水 晶 体 年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	119,251.73	6,708.90	1,500.00	365.00	127,825.63
平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.65	0.16	0.03	0.05	0.47
皮 膚 年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	144,931.03	9,417.70	3,605.40	389.00	158,343.13
平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.80	0.22	0.08	0.05	0.58

Table 1 c

業種別の個人年等価線量(水晶体)の分布と各線量区分における集団等価線量(水晶体)

人数(人)	人数(%)
集団等価線量(manmSv)	線量(%)
(H.25.4.1～H.26.3.31)	

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣 医 療		全 体	
X	130,659 0.00	72.25	34,471 0.00	90.52	41,759 0.00	95.93	6,874 0.00	95.87	213,017 0.00	79.22
0.10以下	9,766 976.60	5.40 0.82	1,039 103.90	2.73 1.55	702 70.20	1.61 4.68	102 10.20	1.42 2.79	11,634 1,163.40	4.33 0.91
0.11～1.00	20,399 9,688.40	11.28 8.12	1,461 648.30	3.84 9.66	676 292.50	1.55 19.50	133 59.00	1.85 16.16	22,654 10,683.40	8.42 8.35
1.01～5.00	14,619 33,653.80	8.08 28.22	777 1,779.90	2.04 26.53	350 790.50	0.80 52.70	51 110.10	0.71 30.16	15,815 36,374.70	5.88 28.45
5.01～10.00	2,934 20,689.10	1.62 17.35	180 1,270.90	0.47 18.94	35 229.10	0.08 15.27	4 31.10	0.06 8.52	3,152 22,211.90	1.17 17.37
10.01～20.00	1,587 22,010.43	0.88 18.46	106 1,475.30	0.28 21.99	7 91.80	0.02 6.12	2 22.40	0.03 6.14	1,703 23,613.63	0.63 18.47
20.01～30.00	435 10,571.10	0.24 8.86	25 604.20	0.07 9.01	1 25.90	0.00 1.73	1 27.10	0.01 7.42	462 11,228.30	0.17 8.78
30.01～50.00	311 11,771.20	0.17 9.87	22 773.30	0.06 11.53	0 0.00	0.00 0.00	3 105.10	0.04 28.79	336 12,649.70	0.12 9.89
50.01～100.00	119 7,912.70	0.07 6.64	1 53.10	0.00 0.79	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	120 7,965.80	0.04 6.23
100.01～150.00	14 1,671.10	0.01 1.40	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	14 1,671.10	0.01 1.31
150超	1 307.30	0.00 0.26	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 307.30	0.00 0.24
合 計	180,844 119,251.73	100.00 100.00	38,082 6,708.90	100.00 100.00	43,530 1,500.00	100.00 100.00	7,170 365.00	100.00 100.00	268,908 127,869.23	100.00 100.00

Table 1 d

業種別の個人年等価線量(皮膚)の分布と各線量区分における集団等価線量(皮膚)

人数(人)	人数(%)
集団等価線量(manmSv)	線量(%)
(H.25.4.1～H.26.3.31)	

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣 医 療		全 体	
X	129,769 0.00	71.73	34,651 0.00	86.93	41,786 0.00	95.84	6,856 0.00	95.61	212,242 0.00	78.42
0.10以下	9,798 979.80	5.42 0.68	1,020 102.00	2.56 0.52	696 69.60	1.60 1.93	106 10.60	1.48 2.72	11,598 1,159.80	4.29 0.69
0.11～1.00	20,369 9,669.60	11.26 6.67	1,896 871.60	4.76 4.41	672 289.50	1.54 8.02	142 63.10	1.98 16.20	23,050 10,882.50	8.52 6.45
1.01～5.00	14,874 34,619.30	8.22 23.87	1,292 3,124.20	3.24 15.79	321 749.70	0.74 20.76	56 127.70	0.78 32.78	16,539 38,616.00	6.11 22.87
5.01～10.00	3,207 22,622.33	1.77 15.60	412 2,978.40	1.03 15.05	56 385.80	0.13 10.68	5 37.60	0.07 9.65	3,679 26,023.53	1.36 15.41
10.01～20.00	1,760 24,418.20	0.97 16.84	366 5,235.70	0.92 26.46	22 316.70	0.05 8.77	2 22.00	0.03 5.65	2,151 30,006.20	0.79 17.77
20.01～50.00	882 26,674.70	0.49 18.39	209 5,836.00	0.52 29.50	39 1,209.70	0.09 33.50	4 128.60	0.06 33.01	1,134 33,851.50	0.42 20.05
50.01～100.00	168 11,332.80	0.09 7.81	14 1,008.90	0.04 5.10	8 490.00	0.02 13.57	0 0.00	0.00 0.00	190 12,834.50	0.07 7.60
100.01～300.00	70 10,882.40	0.04 7.50	3 627.50	0.01 3.17	1 100.40	0.00 2.78	0 0.00	0.00 0.00	74 11,610.30	0.03 6.88
300.01～500.00	6 2,215.40	0.00 1.53	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	6 2,215.40	0.00 1.31
500超	2 1,622.40	0.00 1.12	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	2 1,622.40	0.00 0.96
合 計	180,905 145,036.93	100.00 100.00	39,863 19,784.30	100.00 100.00	43,601 3,611.40	100.00 100.00	7,171 389.60	100.00 100.00	270,665 168,822.13	100.00 100.00

Table 2a

医療関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)
(H.25.4.1～H.26.3.31)	

年実効線量(mSv)	大学病院		一般病院		保健所		歯科		診療所・その他	
X	25,964 0.00	80.00	62,962 0.00	67.33	479 0.00	94.48	15,388 0.00	96.49	32,839 0.00	81.19
0.10以下	1,669 166.90	5.14 2.86	6,583 658.30	7.04 1.73	6 0.60	1.18 4.44	172 17.20	1.08 4.40	1,777 177.70	4.39 1.90
0.11～0.20	805 161.00	2.48 2.76	3,522 704.40	3.77 1.85	7 1.40	1.38 10.37	82 16.40	0.51 4.19	915 183.00	2.26 1.95
0.21～0.30	583 174.90	1.80 3.00	2,361 708.30	2.52 1.86	3 0.90	0.59 6.67	48 14.40	0.30 3.68	569 170.70	1.41 1.82
0.31～0.40	374 149.60	1.15 2.56	1,810 724.00	1.94 1.91	1 0.40	0.20 2.96	36 14.40	0.23 3.68	451 180.40	1.12 1.93
0.41～0.50	329 164.50	1.01 2.82	1,417 708.50	1.52 1.87	2 1.00	0.39 7.41	24 12.00	0.15 3.07	351 175.50	0.87 1.87
0.51～0.60	256 153.60	0.79 2.63	1,207 724.20	1.29 1.91	3 1.80	0.59 13.33	18 10.80	0.11 2.76	281 168.60	0.69 1.80
0.61～0.70	250 175.00	0.77 3.00	1,047 732.90	1.12 1.93	0 0.00	0.00 0.00	13 9.10	0.08 2.33	251 175.70	0.62 1.88
0.71～0.80	194 155.20	0.60 2.66	918 734.40	0.98 1.93	0 0.00	0.00 0.00	26 20.80	0.16 5.32	212 169.60	0.52 1.81
0.81～0.90	175 157.50	0.54 2.70	842 757.80	0.90 1.99	1 0.90	0.20 6.67	12 10.80	0.08 2.76	214 192.60	0.53 2.06
0.91～1.00	151 151.00	0.47 2.59	827 827.00	0.88 2.18	3 3.00	0.59 22.22	18 18.00	0.11 4.60	161 161.00	0.40 1.72
1.01～2.00	984 1,433.80	3.03 24.55	4,871 7,146.60	5.21 18.81	1 1.40	0.20 10.37	71 97.60	0.45 24.96	1,171 1,706.50	2.90 18.22
2.01～3.00	382 939.90	1.18 16.10	2,087 5,200.20	2.23 13.69	1 2.10	0.20 15.56	20 48.40	0.13 12.38	523 1,303.20	1.29 13.91
3.01～4.00	147 507.40	0.45 8.69	1,072 3,752.90	1.15 9.88	0 0.00	0.00 0.00	10 36.40	0.06 9.31	282 988.50	0.70 10.55
4.01～5.00	72 324.40	0.22 5.56	637 2,864.60	0.68 7.54	0 0.00	0.00 0.00	1 4.70	0.01 1.20	149 670.40	0.37 7.16
5.01～6.00	45 248.00	0.14 4.25	362 1,990.30	0.39 5.24	0 0.00	0.00 0.00	3 16.60	0.02 4.24	88 482.90	0.22 5.15
6.01～7.00	22 142.10	0.07 2.43	276 1,790.50	0.30 4.71	0 0.00	0.00 0.00	1 7.00	0.01 1.79	51 334.70	0.13 3.57
7.01～8.00	14 103.90	0.04 1.78	177 1,331.40	0.19 3.50	0 0.00	0.00 0.00	1 7.80	0.01 1.99	44 331.90	0.11 3.54
8.01～9.00	6 50.20	0.02 0.86	142 1,205.75	0.15 3.17	0 0.00	0.00 0.00	1 8.70	0.01 2.22	31 266.30	0.08 2.84
9.01～10.00	8 76.10	0.02 1.30	97 929.60	0.10 2.45	0 0.00	0.00 0.00	1 9.90	0.01 2.53	19 179.80	0.05 1.92
10.01～15.00	19 226.60	0.06 3.88	199 2,390.20	0.21 6.29	0 0.00	0.00 0.00	1 10.10	0.01 2.58	44 550.20	0.11 5.87
15.01～20.00	4 70.10	0.01 1.20	55 942.70	0.06 2.48	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	13 222.00	0.03 2.37
20.01～25.00	0 0.00	0.00 0.00	24 528.30	0.03 1.39	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	5 109.40	0.01 1.17
25.01～30.00	1 26.80	0.00 0.46	14 389.50	0.01 1.03	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	3 81.30	0.01 0.87
30.01～40.00	1 34.90	0.00 0.60	5 163.90	0.01 0.43	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 38.10	0.00 0.41
40.01～50.00	1 46.10	0.00 0.79	2 81.80	0.00 0.22	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 41.00	0.00 0.44
50.00超過	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 307.30	0.00 3.28
合 計	32,456 5,839.50	100.00 100.00	93,516 37,988.05	100.00 100.00	507 13.50	100.00 100.00	15,947 391.10	100.00 100.00	40,447 9,368.30	100.00 100.00

Tabel 2b

	大学病院	一般病院	保健所	歯科	診療所・その他
平均年実効線量(mSv)	0.17	0.40	0.02	0.02	0.23
水晶体年集団等価線量(manmSv)	15,105.40	86,738.13	19.20	470.90	16,918.10
皮膚年集団等価線量(manmSv)	21,611.10	101,894.03	21.20	559.00	20,845.70
皮膚年平均年等価線量(mSv)	0.66	1.08	0.04	0.03	0.51

Table 3 a

医療関係の職種別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量(歯科除く)

人数(人)	人数(%)
集団実効線量(manmSv)	線量(%)

 (H.25.4.1～H.26.3.31)

年実効線量(mSv)	医 師		技 師		看 護 師		そ の 他	
X	50,348 0.00	76.18	11,686 0.00	42.24	37,720 0.00	79.09	20,642 0.00	87.86
0.10以下	4,034 403.40	6.10 2.01	2,151 215.10	7.78 0.93	2,982 298.20	6.25 4.01	794 79.40	3.38 3.16
0.11～0.20	2,086 417.20	3.16 2.08	1,360 272.00	4.92 1.17	1,397 279.40	2.93 3.76	385 77.00	1.64 3.06
0.21～0.30	1,365 409.50	2.07 2.04	993 297.90	3.59 1.28	891 267.30	1.87 3.60	256 76.80	1.09 3.06
0.31～0.40	955 382.00	1.44 1.91	862 344.80	3.12 1.48	644 257.60	1.35 3.47	164 65.60	0.70 2.61
0.41～0.50	748 374.00	1.13 1.87	702 351.00	2.54 1.51	495 247.50	1.04 3.33	151 75.50	0.64 3.00
0.51～0.60	580 348.00	0.88 1.74	676 405.60	2.44 1.75	373 223.80	0.78 3.01	108 64.80	0.46 2.58
0.61～0.70	469 328.30	0.71 1.64	618 432.60	2.23 1.86	371 259.70	0.78 3.50	87 60.90	0.37 2.42
0.71～0.80	387 309.60	0.59 1.55	591 472.80	2.14 2.03	275 220.00	0.58 2.96	69 55.20	0.29 2.20
0.81～0.90	381 342.90	0.58 1.71	547 492.30	1.98 2.12	236 212.40	0.49 2.86	68 61.20	0.29 2.44
0.91～1.00	354 354.00	0.54 1.77	529 529.00	1.91 2.28	204 204.00	0.43 2.75	61 61.00	0.26 2.43
1.01～2.00	1,813 2,673.60	2.74 13.35	3,581 5,241.00	12.95 22.56	1,243 1,809.30	2.61 24.35	377 547.00	1.60 21.77
2.01～3.00	874 2,182.30	1.32 10.89	1,528 3,806.90	5.52 16.39	438 1,081.20	0.92 14.55	151 371.70	0.64 14.79
3.01～4.00	475 1,666.00	0.72 8.32	747 2,608.70	2.70 11.23	211 740.40	0.44 9.97	71 243.80	0.30 9.70
4.01～5.00	327 1,479.10	0.49 7.38	395 1,773.60	1.43 7.63	89 393.10	0.19 5.29	46 207.20	0.20 8.25
5.01～6.00	204 1,124.00	0.31 5.61	220 1,209.60	0.80 5.21	51 277.50	0.11 3.74	20 109.70	0.09 4.37
6.01～7.00	167 1,084.90	0.25 5.42	146 950.80	0.53 4.09	22 143.20	0.05 1.93	17 108.80	0.07 4.33
7.01～8.00	111 833.00	0.17 4.16	93 699.60	0.34 3.01	20 150.90	0.04 2.03	10 75.50	0.04 3.00
8.01～9.00	104 883.95	0.16 4.41	65 552.00	0.23 2.38	7 59.90	0.01 0.81	4 34.70	0.02 1.38
9.01～10.00	67 641.80	0.10 3.20	44 420.30	0.16 1.81	8 75.60	0.02 1.02	6 57.10	0.03 2.27
10.01～15.00	151 1,838.60	0.23 9.18	90 1,077.80	0.33 4.64	15 183.10	0.03 2.46	7 79.60	0.03 3.17
15.01～20.00	47 814.60	0.07 4.07	24 404.50	0.09 1.74	1 15.70	0.00 0.21	0 0.00	0.00 0.00
20.01～25.00	22 480.20	0.03 2.40	7 157.50	0.03 0.68	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
25.01～30.00	12 331.50	0.02 1.65	5 136.30	0.02 0.59	1 29.80	0.00 0.40	0 0.00	0.00 0.00
30.01～40.00	6 202.90	0.01 1.01	1 34.00	0.00 0.15	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
40.01～50.00	3 127.90	0.00 0.64	1 41.00	0.00 0.18	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	0 0.00	0.00 0.00	1 307.30	0.00 1.32	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合 計	66,090 20,033.25	100.00 100.00	27,663 23,234.00	100.00 100.00	47,694 7,429.60	100.00 100.00	23,494 2,512.50	100.00 100.00

Tabel 3 b

	医 師	技 師	看 護 師	そ の 他
平 均 年 実 効 線 量 (mSv)	0.30	0.83	0.15	0.10
水 晶 体 年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	50,559.73	35,210.90	27,554.30	5,455.90
平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.76	1.27	0.57	0.23
皮 膚 年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	64,174.23	40,707.30	30,657.30	8,833.20
平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.97	1.47	0.64	0.37

Table 4 a

工業関係の業態別の個人年実効線量の分布と各線量区分における集団実効線量

人数(人)	人数(%)
集団実効線量 (manmSv)	線量 (%)
(H.25.4.1～H.26.3.31)	

年実効線量 (mSv)	一般工業用		非破壊検査	
X	33,912 0.00	87.81	1,962 0.00	73.51
0.10以下	2,590 259.00	6.71 4.32	163 16.30	6.11 2.10
0.11～0.20	447 89.40	1.16 1.49	84 16.80	3.15 2.17
0.21～0.30	218 65.40	0.56 1.09	53 15.90	1.99 2.05
0.31～0.40	121 48.40	0.31 0.81	42 16.80	1.57 2.17
0.41～0.50	114 57.00	0.30 0.95	51 25.50	1.91 3.29
0.51～0.60	84 50.40	0.22 0.84	39 23.40	1.46 3.02
0.61～0.70	85 59.50	0.22 0.99	30 21.00	1.12 2.71
0.71～0.80	57 45.60	0.15 0.76	18 14.40	0.67 1.86
0.81～0.90	54 48.60	0.14 0.81	17 15.30	0.64 1.97
0.91～1.00	38 38.00	0.10 0.63	18 18.00	0.67 2.32
1.01～2.00	306 444.90	0.79 7.42	89 130.80	3.33 16.87
2.01～3.00	150 382.30	0.39 6.37	39 96.90	1.46 12.50
3.01～4.00	91 319.20	0.24 5.32	22 77.10	0.82 9.95
4.01～5.00	55 249.30	0.14 4.16	17 75.60	0.64 9.75
5.01～6.00	43 240.20	0.11 4.01	6 32.70	0.22 4.22
6.01～7.00	39 254.50	0.10 4.24	3 19.80	0.11 2.55
7.01～8.00	33 246.20	0.09 4.11	3 23.10	0.11 2.98
8.01～9.00	23 196.40	0.06 3.28	7 60.20	0.26 7.77
9.01～10.00	19 179.70	0.05 3.00	2 18.50	0.07 2.39
10.01～15.00	64 790.60	0.17 13.18	4 57.10	0.15 7.37
15.01～20.00	31 535.80	0.08 8.93	0 0.00	0.00 0.00
20.01～25.00	14 309.70	0.04 5.16	0 0.00	0.00 0.00
25.01～30.00	11 294.20	0.03 4.91	0 0.00	0.00 0.00
30.01～40.00	21 742.10	0.05 12.37	0 0.00	0.00 0.00
40.01～50.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	1 50.50	0.00 0.84	0 0.00	0.00 0.00
合 計	38,621 5,996.90	100.00 100.00	2,669 775.20	100.00 100.00

Tabel 4 b

		一般工業用	非破壊検査
平 均 年 実 効 線 量 (mSv)		0.15	0.29
水 晶 体	年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	5,932.20	776.70
	平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.15	0.29
皮 膚	年 集 団 等 価 線 量 (manmSv)	8,673.90	743.80
	平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.22	0.27

Tabel 5 モニタリング区分別の年実効線量、過剰被ばく人数と年実効線量、等価線量の平均値並びに等価線量の実効線量に対する比の平均

	均 等	均等末端	不 均 等	不均等末端	注) 均等： 体幹部均等被ばくとして個人モニタリングを行っている集団 均等・末端： 体幹部均等被ばくとしてモニタリングを行い、さらに末端部被ばくのモニタリングも併用している集団 不均等： 体幹部不均等被ばくとして個人モニタリングを行っている集団 不均等・末端： 体幹部不均等被ばくとしてモニタリングを行い、さらに末端部被ばくのモニタリングも併用している集団
人 数 比 率	89%	1%	9%	1%	
実効線量で50mSvを超えた人数	2	0	0	0	
平 均 年 実 効 線 量 (mSv)	0.14	0.75	0.53	0.75	
水 晶 体 平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.15	0.78	1.87	1.95	
皮 膚 実効線量に対する比の平均	1.07	1.04	3.53	2.60	
皮 膚 平 均 年 等 価 線 量 (mSv)	0.15	4.80	1.92	5.78	
膚 実効線量に対する比の平均	1.07	6.40	3.62	7.71	

Table 6 最近5年間の個人線量の年度推移

	人数(人)		人数(人)		人数(人)		人数(人)		人数(人)	
年実効線量	平成21年度		平成22年度		平成23年度		平成24年度		平成25年度	
X	198,987	81.54	200,411	80.88	208,721	80.82	214,320	81.15	219,529	80.72
0.10以下	10,839	4.44	11,517	4.65	11,756	4.55	11,884	4.50	13,662	5.02
0.11～0.20	5,353	2.19	5,619	2.27	5,802	2.25	6,079	2.30	6,094	2.24
0.21～0.30	3,535	1.45	3,858	1.56	3,919	1.52	3,958	1.50	3,961	1.46
0.31～0.40	2,658	1.09	2,757	1.11	2,963	1.15	2,959	1.12	2,911	1.07
0.41～0.50	2,151	0.88	2,212	0.89	2,324	0.90	2,363	0.89	2,351	0.86
0.51～0.60	1,766	0.72	1,784	0.72	1,946	0.75	1,967	0.74	1,929	0.71
0.61～0.70	1,511	0.62	1,597	0.64	1,662	0.64	1,586	0.60	1,716	0.63
0.71～0.80	1,321	0.54	1,311	0.53	1,469	0.57	1,521	0.58	1,470	0.54
0.81～0.90	1,225	0.50	1,234	0.50	1,332	0.52	1,328	0.50	1,349	0.50
0.91～1.00	1,092	0.45	1,121	0.45	1,185	0.46	1,212	0.46	1,253	0.46
1.01～2.00	6,747	2.76	7,126	2.88	7,590	2.94	7,493	2.84	7,673	2.82
2.01～3.00	2,882	1.18	2,972	1.20	3,140	1.22	3,068	1.16	3,285	1.21
3.01～4.00	1,427	0.58	1,557	0.63	1,608	0.62	1,587	0.60	1,672	0.61
4.01～5.00	805	0.33	872	0.35	919	0.36	891	0.34	949	0.35
5.01～6.00	460	0.19	528	0.21	546	0.21	566	0.21	560	0.21
6.01～7.00	353	0.14	353	0.14	366	0.14	361	0.14	405	0.15
7.01～8.00	240	0.10	233	0.09	241	0.09	238	0.09	273	0.10
8.01～9.00	140	0.06	166	0.07	177	0.07	176	0.07	213	0.08
9.01～10.00	113	0.05	134	0.05	127	0.05	115	0.04	149	0.05
10.01～15.00	283	0.12	272	0.11	281	0.11	285	0.11	335	0.12
15.01～20.00	73	0.03	87	0.04	116	0.04	78	0.03	104	0.04
20.01～25.00	25	0.01	34	0.01	35	0.01	37	0.01	43	0.02
25.01～30.00	18	0.01	16	0.01	19	0.01	10	0.00	31	0.01
30.01～40.00	17	0.01	7	0.00	15	0.01	15	0.01	28	0.01
40.01～50.00	3	0.00	2	0.00	7	0.00	5	0.00	5	0.00
50.00超過	1	0.00	6	0.00	3	0.00	0	0.00	2	0.00
合 計	244,025	100.00	247,786	100.00	258,269	100.00	264,102	100.00	271,952	100.00
集団線量 (manmSv)	51,810.77		55,175.05		58,125.45		56,383.77		61,852.84	
平均年線量 (mSv)	0.21		0.22		0.22		0.21		0.22	

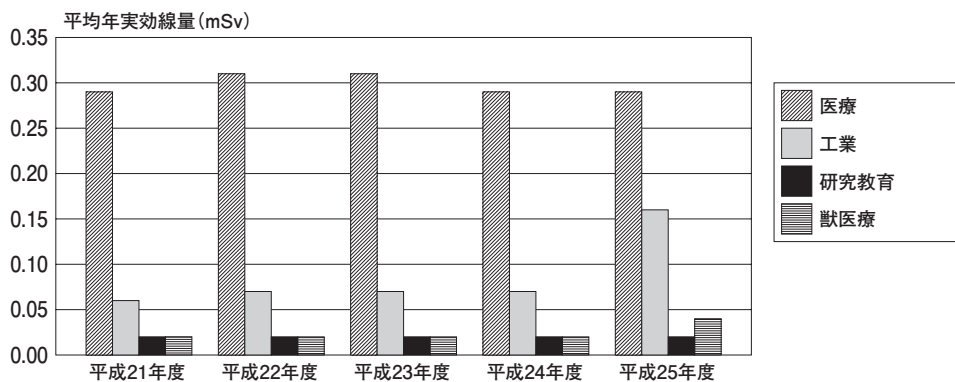


Fig. 1 過去5年間の平均年実効線量(業種別)

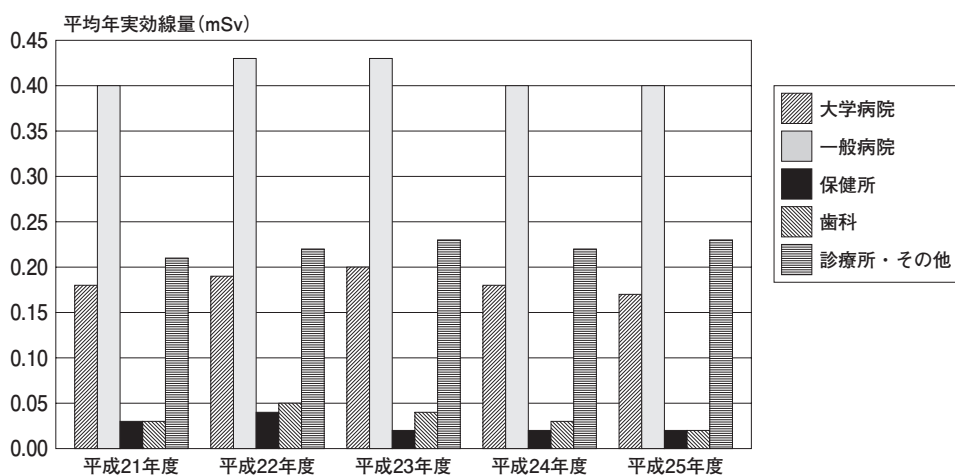


Fig. 2 過去5年間の平均年実効線量(医療関係)

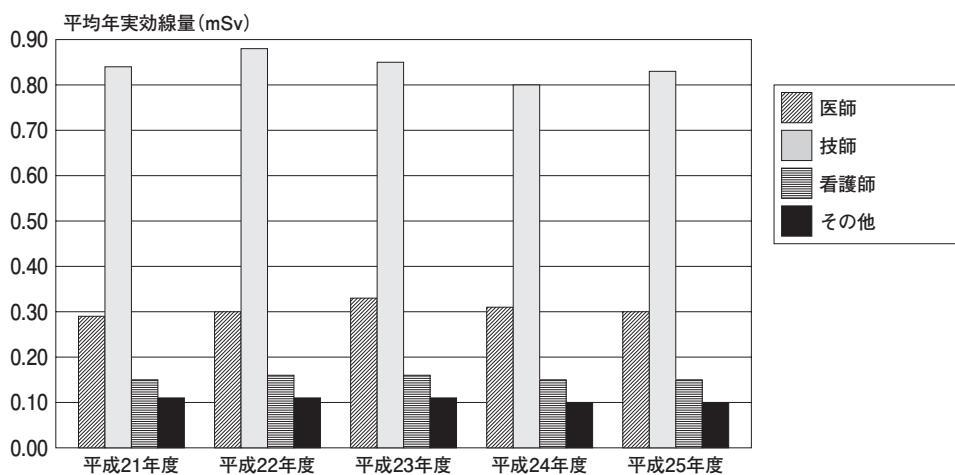


Fig. 3 過去5年間の平均年実効線量(医療関係の職種別)

1. 共同開発の経緯

2012年5月のことになりますが、フランスのAREVA社（原子力産業複合企業）日本人から、汚染土壌を選別する装置のフランスのVEOLIA WATER社（水処理専門会社）との共同開発への参加の打診が弊社と(株)アトックスにありました。当時から既に土壌除染の過程で、表土除去した土壌が大量に発生しており、その土壌の保管・処理上、廃棄物の減容は必要不可欠なものと判断し、開発への参加を決定しました。日仏4社での共同開発の役割分担は、AREVA（装置の基本設計、運転指導）、VEOLIA（製造、国産化対応、装置のメンテナンス）、アトックス（オペレーション、放射線測定）、弊社（マーケティング、放射線測定）となっています。なお、2012年秋、VEOLIA WATER社に代わり、

その孫会社である昭和環境システム社が出資会社となりました。

2. 実証試験に向けて ～準備から実作業まで～

プロジェクトを進めるに当たり、まず共同事業契約書締結の交渉中に当事者間で相互に開示され得る情報の秘密保護を目的としてLetter of Intentが締結されました。4社間の打合わせは日本語を主言語としましたが、議論が白熱したりしますと、英語、フランス語が飛び交い、しばしば営業統括本部国際課にフランス語の通訳で救援を受けることもありました。その後、CSSU試作機の日本到着に伴い、実証試験の候補地探しが始まりました。紆余曲折の末に、福島県大熊町の農地を借りることが出来、本格的に試験に向けて準備が始まりま



実証試験の現場

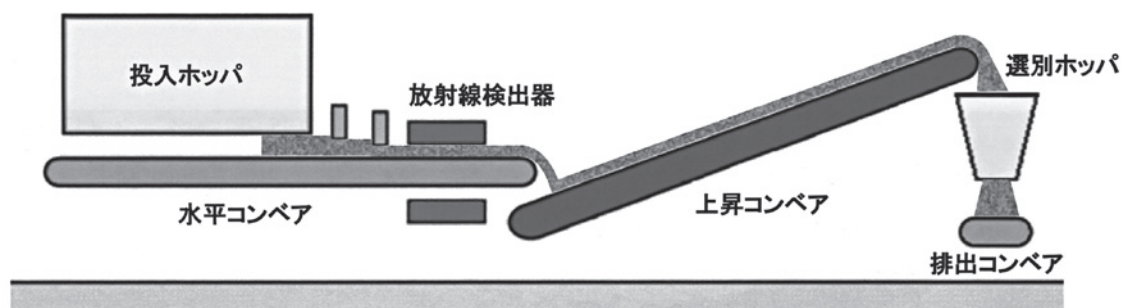
した。当該実証試験に従事する作業員に対しては、除染電離則に基づく特別教育を行いました。CSSU試作機到着後も、当該農地の使用許可の取得等、計画通りに事が運ばない場面もありましたが、関係4社が結束して乗り越え、許可取得後、現地試験の準備と日本側スタッフの訓練をフランスからのエンジニアも交えて11月7日から12月20日にわたって行い、実証試験は年が明けた本年1月7日から24日まで行うこととなりました。

ここからは苦労話になりますが、実証試験を行った地域は原子力発電所事故に伴う居住制限区域や避難指示解除準備区域に指定されており宿泊が出来ないため、実証試験期間中の生活拠点は福島県いわき市内のホテルにいました。また、試験を行ったその日ごとに同じいわき市内のアトックス社のオフィスを借りて事後ミーティングを実施していました。毎朝7時頃にホテルを出発して、途中のコンビニエンスストアで昼食を購入して現場に向かう日々でした。試験現場では、到着してからその日の作業が終了する午後3時半くらいまではほぼ立ちっぱなしでした。1月あたりからは強烈な海風が容赦なく吹き付けて、

心底冷え込み、タイベックスーツを2重に着て寒さをしのいだりしました。

3. CSSU ～概要について～

CSSUはベルトコンベアを主体に土壌投入口、放射線検出部および土壌選別部で構成。放射線検出部には大型プラスチックシンチレータを2台備えて土壌とコンベアのベルトの汚染を個別に計測し、自然放射能の減算や装置の汚染感知を自動で行い、汚染土壌の放射線量を定量検出。ソーティングホッパーにより、土壌の流れを連続的に選別できることが特徴です。また装置は40フィート・コンテナ2台（選別装置本体23.5tコンテナと操作盤、ディーゼル発電機、コンプレッサーで構成されるユーティティ7.5tコンテナ）に収めたモバイル型ながら、1時間あたり最大約100tの土壌を選別処理することが出来ます。CSSUでは100×50×5cm（容積25L）プラスチックシンチレータを用いた検出器を2台使用しています。NaI（ヨウ化ナトリウム）などの無機シンチレータに比べ、発光の減衰時



CSSU機能概要図

- ①投入ホッパ…土壌をホッパから投入
- ②水平コンベア…投入された土壌はコンベアで移動
- ③放射線検出器…上の検出器で土壌を下の検出器でコンベアのベルトの汚染を計測
- ④上昇コンベア…計測された土壌を移動
- ⑤選別ホッパ…濃度に応じ土壌を左右に選別
- ⑥搬出コンベア…選別された土壌を移動



作業開始前の朝礼

間が100倍程速いため、コンベア上を流れるセシウム汚染土壌の測定にも適しており、また、早い応答性のため γ 線の高速計測などに利用されています。

4. 実証試験 ～得られた結果～

前述の通り、本格的な実証試験は1月7日から24日まで行われました。試験場所の空間線量率は約 $1.0 \sim 1.5 \mu\text{Sv/h}$ 。試験土壌は田を地表から約5cmの深さ毎に掻き取り、放射能濃度分布の異なる4種類の土壌を準備。選別装置の校正は、ゲルマニウム半導体検出器で放射能濃度を定量した土壌試料をキャリブレーション用の線源として用いました。

今回の実証試験では、選別装置の検出限界は、約 300Bq/kg であり、選別後の各土壌の一部を分析し、設定した放射能濃度に基づいて振り分けられたことが確認できました。

また、実証試験に合わせてCSSUの公開デモンストレーションを試験場で行い、事前に招待した建設会社や販売会社、報道各社等から21社78名の参加を頂きました。

5. CSSU ～今後の展開～

デモンストレーション参加企業を中心に営業展開を行い、現在2つの案件が進行中です。最初の案件は、A社から中間貯蔵施設（Ⅱ型）の減容化を目指した除染土壌の濃度分析システムの実証のため、CSSUを使つての環境省主催の平成26年度除染技術実証事業へ参加協力の要請がありました。この原稿を執筆している段階で一次審査を通過しました。この後行われる二次審査を経て、結果が発表される予定です。

もう一方の案件は、B社から、同社が計画されている中間貯蔵施設での導入を目指す汚染土壌ソーティング試験に、CSSUを組み込んで実証試験を行うものです。

弊社では、上記の案件に協力しながら様々な試験を重ね、土質による影響の違いや装置全体としての選別精度などのデータを収集し、CSSUの優位性を確認・アピールしていきたいと考えています。

*本稿は平成26年6月30日現在の状況を基に執筆しています。

(エンジニアリング本部 中原 修、市川俊治)

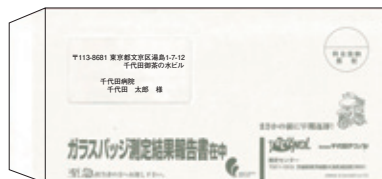
サービス部門からのお知らせ

報告書発送用の封筒デザインが変わりました

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。

お客様へ発送しておりますガラスバッジの報告書用の封筒につきまして、一部デザインを変更いたしました。従来の「縦開きタイプ」から「横開きタイプ」の封筒に変更し、報告書をお届けいたします。(報告書枚数が1〜9枚までのお客様が対象となります。) また、封筒デザインの変更に伴い、報告書の折り方を縦三つ折りに変更させていただきました。

引き続き、弊社のモニタリングサービスをご愛用くださいますよう、よろしくお願い申し上げます。



【変更前】
縦開きタイプ



【変更後】
横開きタイプ

編集後記

●このところ世界情勢は、ウクライナ紛争とマレーシア航空機の撃墜、ガザ地区へのイスラエルの侵攻、イラクとシリアの内戦など、いくつもの紛争が起きています。

●今月号は、巻頭にKnoll教授の有名な「放射線計測ハンドブック」第4版を翻訳された、神野先生に「実用的なエネルギー分解CTのためのtransXend検出器」を執筆して頂きました。この中で故Knoll教授となっているのに驚きました。確か2年ほど前にKnoll教授は京大で講演されたのを聞きましたので、まだ、お元気だと思っていました。このtransXend検出器は、従来のX線CTでは被検体を通過したX線を検出器で電流値として測定していますが、X線のエネルギー情報を用いたエネルギーを弁別できるCTであり、X線の進行方向に複数のX線検出器（要素検出器）を配置した検出器システムです。この新しい方式について分かりやすい説明がされていて、人体用の第3世代CTへの応用を目指した意欲的な研究です。

●例年通り平成25年度の個人線量の実態のまとめの記事が掲載されています。集計総人数は271,952人で、内訳は、医療が180,843人、工業が41,267人、研究教育が43,530人、獣医療が7,170人となっていて、医療が大半を占めています。平均の年実効線量は0.22mSvですが、法令に定める年線量限度50mSvを超えた人が2人います。なお、詳しい解説は11月号に掲載の予定です。

●その他には、弊社を含む日仏4社が共同開発した福島での汚染土壌の弁別測定装置の実証試験について苦労話と共に現状と今後の展開が紹介されています。福島事故から3年が過ぎましたが、依然として問題が山積みであり、あせらずに一つ一つ解決していくしかありません。傍から見ていると随分無駄な努力にお金と人員を使っているところも多く、いろんな配慮や制約があるからでしょうが、もっと効率的なやり方が出来ないのかと思います。(T. N.)

FBNews No.453

発行日／平成26年9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ロ 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）