

Photo Yasuhiro Hirano

Index

DATEプロジェクト	
－ 加速器による診断・治療用アイソトープ医薬品開発 － 渡部 浩司	1
令和2年度 個人線量の実態	6
〔コラム〕 33th Column	
【胃がんから大腸がん】	中川 恵一 15
〔放射線道場の喫茶室〕	
第11回 LNT	鴻 知己 16
公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ	17
ガラスバッジお問い合わせ専用フリーダイヤルと ガラスバッジ担当事務所の電話番号のご案内	17
就任のごあいさつ	井上 任 18
〔サービス部門からのお願い〕	
ガラスバッジを使用しなかったのに報告書が送られてきた?!	19

DATEプロジェクト

— 加速器による診断・ 治療用アイソトープ医薬品開発 —



渡部 浩司*

1. はじめに

2020年10月に「革新的医療用ラジオアイソトープ製造施設整備に向け始動」と題してDATEプロジェクトのプレスリリースを行った。このプロジェクトでは、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター (Cyclotron and Radioisotope Center略称 CYRIC)、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (QST)、住友重機械工業株式会社、そして株式会社千代田テクノルの4機関が共同で、加速器を用いて ^{64}Cu 、 ^{67}Cu を始めとする医療用RIの製造を行う。DATEプロジェクトのDATEとはDeuteron Accelerator for Theranostics mEdicine at Tohoku Universityの略であり、この名前が示す通り、加速器でDeuteron (重陽子)を加速して、“Theranostics” (セラノスティックス)を行うためのRI (radioisotope, 放射性同位元素)を製造することを特徴とする。本稿では、現在世界的に注目されている「セラノスティックス」を概説し、DATEプロジェクトが目指す展望を紹介したい。

2. セラノスティックス

“セラノスティックス” (theranostics)とは治療を意味する“therapy”と診断学を意味する“diagnostics”を合わせた造語であり、治療と診断を融合させることにより、QOLが

高く、かつ、個人の治療効果を最大化する医療を指す。ここで診断とは、通常、核医学画像であるPETやSPECT、MRI、光・超音波などの画像診断を意味する。核医学におけるセラノスティックスでは、ガンに集まりやすいなどの特異的な性質を持った薬剤にRIを標識し、体内に投与、RIから放出される光子をPETやSPECTで捉えることにより体内の薬剤分布を画像化する一方、投与したRIから放出される電離放射線 (電子、 β 線、 α 線)により、疾患部位を攻撃して治療することを指す。これにより、画像から部位の特定を可能とし、薬剤の集積具合から治療効果判定や正常細胞への影響などを、患者ごとに見積もることができる。1998年にJohn Funkhouserによって最初にtheranosticsという用語を用いたといわれているが¹⁾、核医学において、画像診断と治療の融合は、はるか昔、1940年代には甲状腺ガン治療の ^{131}I から始まっている²⁾。半減期8日の ^{131}I は、放出された β 線により治療を行うとともに、364keVの γ 線を用いて体内のRI分布をイメージングできる (364keVは比較的能量が高いため、コリメータを突き抜けやすく、空間分解能が低い画質となるため、代わりに ^{123}I (主に159keVの γ 線を放出)を用いる場合もある)。放射性ヨウ素を画像診断および治療に合わせて用いることにより、患部および正常組織の放射線被ばく量を推定して治療計画を立てた

* Hiroshi WATABE 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター センター長/放射線管理研究部 教授

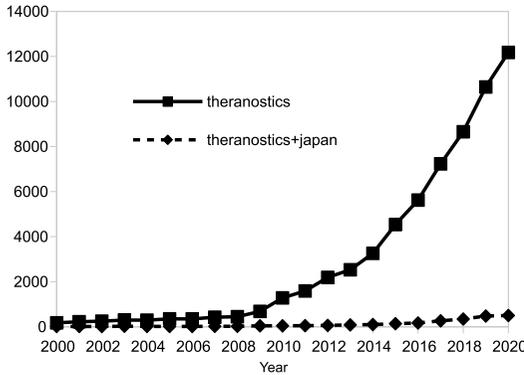


図1 PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) データベースにおけるtheranostics (実線) およびtheranosticsかつJapan (波線) の年毎の論文数

り、治療前後の画像を比較することにより治療効果を判定することができる。このように核医学においてセラノスティックス自体は決して新しい概念ではないが、図1に示す通り、PubMed (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>) データベース内でtheranosticsという用語が使われている年毎の論文数が、2010年ごろを境にして、急激に増えていることがわかる。この急上昇の背景には、さまざまな要因が考えられるが、新しい治療ターゲットへの適用と新しい治療薬の開発が大きく貢献している。表1に、これまでセラノスティックスで使われてきた RIの組み合わせ例を示すが、近年の神経内分泌腫瘍 (NET) への適用、前立腺特異的膜抗原 (PSMA) をターゲットとした薬剤の開発が核医学セラノスティックスの拡大に大きく貢献した。特にα放出核種である²²⁵Acを用いた前立腺癌治療において、劇的な効果を示し、世界に衝撃を与えた³⁾。また、α線放出核種である²²³Raでラベルした塩化ラジウム (商品名：ゾーフイゴ) が骨転移を有する去勢抵抗性前立腺癌治療として開発され、世界的に認可 (米国, 欧州 2013年、日本 2016年承認) を受けて、普及したこともセラノスティックスの研究や臨床応用の促進に大きく貢献している。国内に目を向けると、

表1 セラノスティックス用RIの組み合わせ例 (括弧の中は半減期, 診断用モダリティおよび治療に用いられる放射線の種類)

画像診断用RI	治療用RI
¹²³ I (13.2h, SPECT)	¹³¹ I (8.0d, β線) ²¹¹ At (7.21h, α線)
⁶⁸ Ga (68h, PET)	¹⁷⁷ Lu (6.6d, β線) ²²⁵ Ac (9.9d, α線)
⁶⁴ Cu (12.7h, PET)	⁶⁷ Cu (61.8h, β線)
^{99m} Tc (6.0h, SPECT)	²²³ Ra (11.4d, α線)
¹⁸ F (110m, PET)	⁸⁹ Sr (50.6d, β線)
¹¹¹ In (2.8d, SPECT)	⁹⁰ Y (64h, β線)

まだ研究段階ではあるが、α線放出核種である²¹¹Atを用いた日本発の治療薬の開発が複数の研究施設で進行中である。

3. 放射性銅⁶⁴Cuおよび⁶⁷Cu

DATEプロジェクトでは、主にセラノスティックスに関連するRIとして⁶⁴Cuと⁶⁷Cuに焦点をあてている。本節では、これら銅トレーサーについて解説する。

銅は、銅酵素の構成物質として、生体において必須の金属であり、骨代謝、結合織代謝、造血などに重要な役割を果たしている。さらに、種々のキレート試薬と強力な配位結合をするという特徴により、放射性薬剤のトレーサーとして極めて有用である。図2に⁶⁴Cuおよび⁶⁷Cuの壊変図を示すが、⁶⁴Cuは半減期12.7時間で、61%、β⁺壊変 (EC壊変) (平均エネルギー278 keV) し、安定同位体の⁶⁴Niに壊変し、39%はβ⁻壊変 (平均エネルギー191 keV) により⁶⁴Znに壊変する。⁶⁴Cuはβ⁺を放出するため、PETによる画像診断が可能である。一方、半減期62時間の⁶⁷Cuはβ⁻壊変 (平均エネルギー121 keV, 154 keV, 189 keV) により、⁶⁷Znとなる。壊変時、γ線 (185 keV, 93 keV, 91 keV) を発生する。⁶⁷Cuの放出するβ⁻線の飛程は1細胞程度であるため、正常細胞へのダメージが少なく、また、治療用RIとして適当な長さの半減期であることから、⁶⁴Cu/⁶⁷Cu

の診断・治療の組み合わせは1980年代から研究が進められきた^{4,5)}。銅には⁶⁴Cu/⁶⁷Cu以外にも多数の同位体が存在しているが(例えば⁶⁰Cu(半減期23.7分, β^+ 壊変), ⁶¹Cu(半減期3.3時間, β^+ 壊変), ⁶²Cu(半減期9.7分, β^+ 壊変)), 体内において十分な滞留時間があること、薬剤の供給が可能な時間が確保できることを考えると、半減期はある程度長い方が望ましく、今後セラノスティックスでの利用が期待されている放射性同位元素として、⁶⁴Cuと⁶⁷Cuが最有力候補となる。表1にあるように、他の診断・治療の組み合わせRIでは異なる元素の組み合わせの場合もあるが(例えば、⁶⁸Gaと¹⁷⁷Lu)、⁶⁴Cu/⁶⁷Cuの組み合わせでは、同じ元素のため、診断時と治療時で、完全に体内における挙動が等しく、精度の高いセラノスティックスが可能である。⁶⁷Cuの61.8時間という半減期も放射線治療にとっては適当な半減期である。なお⁶⁴Cuは β^- やEC壊変に伴うオージェ電子⁶⁾により、細胞死を引き起こさせることができ、大量投与により治療用RIとしても利用できる。また、 β 線のみ放出する⁹⁰Yと異なり、⁶⁷Cuは低エネルギーの γ 線を放出しているため、SPECTにより体内の画像分布を観察することが可能である⁷⁾。¹³¹IもSPECT画像を得られるが、⁶⁷Cuが放出する γ 線は¹³¹Iのものよりも低いエネルギーの γ 線なので、医療従事者の被ばく量が少ないという利点もある。

1990年代、B細胞非ホジキンリンパ腫に対する治療薬として、モノクローナル抗体Lym-1に⁶⁷Cuを標識した [⁶⁷Cu] 2IT-BAT-Lym-1が開発され、治験が行われた⁸⁾。その後、放射性銅を用いたセラノスティックス研究はあまり表舞台に立つことがなかったが、2019年に発表された論文にて、腫瘍細胞表面に過剰発現するソマトスタチン受容体を標的とした [⁶⁴Cu] SARTATE (⁶⁴Cu-MeCOSar-Tyr³-octreotate)は従来から使われ、同様の機能を持つDOTA-TATE (DOTA-Tyr³-octreotate)よりも銅の保持率が高く、腫瘍対正常組織比の大幅な改

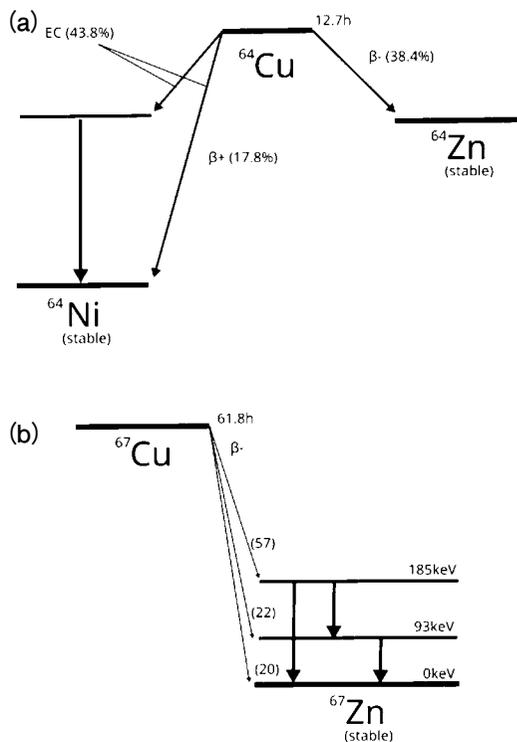


図2 ⁶⁴Cu(a)および⁶⁷Cu(b)の壊変図(一部省略)

善が見られたことが報告された⁹⁾。このSARTATEを用いた神経芽細胞腫治療に関する複数の治験が、オーストラリアのClarity Pharmaceuticals社 (<https://www.claritypharmaceuticals.com>)が主導して、米国およびオーストラリアで進行中である。また、同様な技術を用いた前立腺癌診断・治療薬 [⁶⁴Cu] SAR-bisPSMAおよび [⁶⁷Cu] SAR-bisPSMAの治験実施申請がFDA(米国食品医薬品局)により2021年5月に認められており、今後の結果が期待される。一方、国内に目を向けると、 [⁶⁴Cu] ATSMは、低酸素環境下の腫瘍を標的とする放射性薬剤であるが、現在、日本発の診断・治療薬剤として、標準治療終了後に再発した悪性脳腫瘍患者を対象とした臨床試験が進められている¹⁰⁾。このように近年になり、改めて放射性銅の有用性が世界的に注目されている。

4. DATEプロジェクト とは

前節に記した通り、 $^{64}\text{Cu}/^{67}\text{Cu}$ は1980年代からセラノスティックスに適したRIとして有力視されていたにも関わらず、認可された薬剤は存在せず、未だ日常の臨床応用に至っていない。その大きな理由が、放射性銅の大量生産の難しさにある¹¹⁾。

加速器で ^{64}Cu を製造するために、最も使われる核反応は ^{64}Ni に陽子線を照射する $^{64}\text{Ni}(p,n)^{64}\text{Cu}$ であるが、ニッケルの中で ^{64}Ni の存在比はわずか0.93%であり、その結果、製造コストの問題が発生する。原子炉からの中性子を使って $^{64}\text{Zn}(n,p)^{64}\text{Cu}$ 反応を用いる方法は、 ^{64}Zn の存在比が49%と高く有利であるが、原子炉が必要となるため、特に国内での利用は困難である。 ^{67}Cu の場合、原子炉を用いて $^{67}\text{Zn}(n,p)^{67}\text{Cu}$ 反応が、あるいは加速器を用いて $^{64}\text{Ni}(\alpha,p)^{67}\text{Cu}$ 反応が用いられる。近年、電子線形加速器からの制動放射線を発生させ、光核反応 $^{68}\text{Zn}(\gamma,p)^{67}\text{Cu}$ を用いた製造方法が提案され¹²⁾、注目をされている。いずれの方法も、 $^{64}\text{Cu}/^{67}\text{Cu}$ の臨床応用が実現された後の必要量を製造するまでには至っていない。DATEプロジェクトは、 $^{64}\text{Cu}/^{67}\text{Cu}$ を大量に製造し、セラノスティックス医療に貢献することを目的としている。

以前のFBNewsで記事¹³⁾を書かせていただいたが、大阪大学核物理研究センターが代表となり、東北大CYRICを含む国内の大型加速施設が協力して、短寿命のために商業的な流通がされていないRIを研究者に供給する事業「短寿命RI供給プラットフォーム」を2016年より行っている。この活動が縁で、QST、住友重機械工業株式会社、株式会社千代田テクノルが協力し、科学技術振興機構

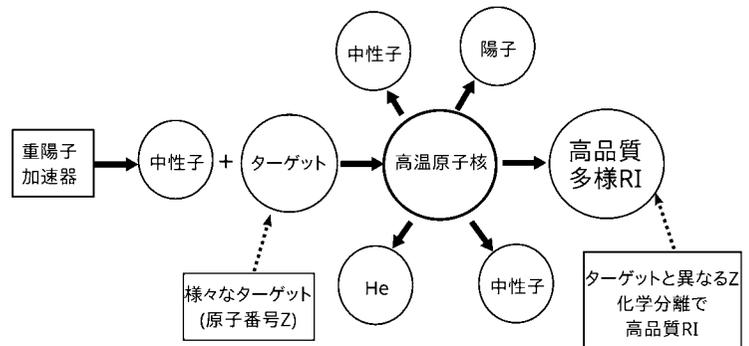


図3 DATEプロジェクトで用いるRI製造法の概念図

(JST)の産学共創プラットフォーム(OPERA) (<https://www.jst.go.jp/opera/>)の支援を受ける形で、DATEプロジェクトが始まった。図3にDATEプロジェクトにおけるRI製造法の概念図を示す。サイクロトロンで重陽子を加速し、炭素やBeに照射することにより、高速中性子を発生させ、それをターゲット(放射性銅の場合、亜鉛ターゲット)に照射して、核反応を発生させる。目的とするRIはターゲットとは異なる原子番号を持っているため、化学分離により高品質のRIを製造できる。この技術自体は、現在、株式会社千代田テクノル特別研究員である永井泰樹氏らの長年の研究を礎としている¹⁴⁾。

本製造法は以下の特徴を持つ。

- 天然に存在する全ての同位体ターゲットが利用可能である。
- 中性子と、ターゲット内の核種との反応断面積がターゲット種に依らず大きい。
- 中性子は電荷を持たず、試料中でエネルギー損失しないため大量のターゲットが使用可能であり、長時間の照射ができる。

大量製造のためには、加速する重陽子の強度を高める必要がある。そこで、本プロジェクトでは、負重水素イオン源を整備し、負イオンビームを加速することにより、大強度化を図る。東北大CYRICは負イオン加速の設計と実証、QSTはターゲットの最適化、自動

搬送の設計、住友重機械工業株式会社はイオン源の設置、加速器の調整、株式会社千代田テクノは化学分離装置の設計をそれぞれ担当する。

5. 最後に

DATEプロジェクトによって、十分な量の⁶⁴Cu/⁶⁷Cuが国内に供給できたとしても、それを利用する利用者の広がりがなければ、セラノスティックスの発展は望めない。図1に示す通り、世界的なセラノスティックス関連の研究の盛り上がりに対して、日本国内のセラノスティックスの研究はまだ不十分と言える。この原因として、国内におけるRI利用に対する大きな壁の存在が大きい。他の諸国に比較して、放射線に対する規制の障壁が高いことに加えて、異なる分野の研究者の間の壁も存在する。DATEプロジェクトによって、この壁を少しでも低くし、国内のセラノスティックス研究の正の循環が実現することを期待したい。

参考文献

- 1) Langbein T, Weber WA, et al.:Future of theranostics: An outlook on precision oncology in nuclear medicine. J Nucl Med.60:13S-19S,2019.
- 2) Hertz B:A tribute to dr. saul hertz: The discovery of the medical uses of radioiodine. World J Nucl Med.18:8-12,2019.
- 3) Kratochwil C, Bruchertseifer F, et al.: 225Ac-PSMA-617 for PSMA- targeted α -radiation therapy of metastatic castration-resistant prostate cancer. J Nucl Med.57: 1941-1944,2016.
- 4) DeNardo G, DeNardo S, et al.Strategies for enhancement of radioimmunotherapy. Nucl Med Bio.18:633-640,1991.
- 5) Anderson CJ, Connett JM, et al.:Copper-64-labeled antibodies for PET imaging. J Nucl Med.33:1685-91,1992.
- 6) McMillan DD, Maeda J, et al.:Validation of ⁶⁴Cu-ATSM damaging DNA via high-LET Auger electron emission. J Rad Res. 56:784-791,2015.

- 7) Hao G, Mastren T, et al.:Copper-67 radioimmunotheranostics for simultaneous immunotherapy and immuno-SPECT. Scientific Reports.11:2021.
- 8) O' Donnell RT, DeNardo GL, et al.:A clinical trial of radioimmunotherapy with ⁶⁷Cu-2IT-BAT-Lym-1 for non-hodgkin's lymphoma. J Nucl Med.40:2014-20,1999.
- 9) Hicks RJ, Jackson P, et al.:⁶⁴Cu- SARTATE PET imaging of patients with neuroendocrine tumors demonstrates high tumor uptake and retention, potentially allowing prospective dosimetry for peptide receptor radionuclide therapy. J Nucl Med.60:777-785,2019.
- 10) 吉井幸恵：悪性脳腫瘍に効果が期待される日本発放射性治療薬⁶⁴Cu-ATSM. Isotope News.76:12-15,2019.
- 11) Kin T, Nagai Y, et al.:New production routes for medical isotopes ⁶⁴Cu and ⁶⁷Cu using accelerator neutrons. J Phys Soc Jpn.82:034201,2013.
- 12) Ehst DA, Smith NA, et al.:Copper-67 production on electron linacs- photonuclear technology development. AIP Conference Proceedings.:157-161,2012.
- 13) 渡部浩司：短寿命RI供給プラットフォーム. FBNews.487:1-5,2017.
- 14) Nagai Y:Production scheme for diagnostic-therapeutic radioisotopes by accelerator neutrons. Proc Japan Academy B 97:292-323, 2021.

著者プロフィール

1995年東北大学大学院原子核工学科博士後期課程を修了し、博士（工学）を取得。その後、2009年まで国立循環器病センター（現・国立循環器病研究センター）研究所でPET、SPECT関連の研究に従事。その間、1997年から1999年まで米国国立衛生研究所（NIH）に留学。2009年10月から2013年3月まで大阪大学大学院医学系研究科医薬分子イメージング寄附講座の准教授として、大阪大学大学院医学系研究科附属PET分子イメージングセンターの立ち上げを進めた。2013年4月より現職の東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターに異動し、核医学、分子イメージングの研究を継続するとともに、研究領域を放射線に関わる研究全般に広げて活動を行なっている。

令和2年度

個人線量の実態

1. はじめに

本資料は、弊社のガラスバッジサービスに基づく、令和2年度の個人線量の実態の報告です。個人線量計で測定した、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。

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日までにそれぞれ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日までにそれぞれ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合計 (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
平均年等価線量を平均年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

末 : 末端部

MAX(.,.) : (.,.) 内のいくつかの線量当量のうちの最大のもの

3.1 均等被ばくとして個人放射線被ばく線量測定をしている場合

$$H_E = H_{1\text{cm基}}$$

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

$$H_S = H_{70\mu\text{m基}}$$

3.2 不均等被ばくとして個人放射線被ばく線量測定をしている場合

$$H_E = 0.08H_{1\text{cm頭}} + 0.44H_{1\text{cm胸}} + 0.45H_{1\text{cm腹}} + 0.03H_{1\text{cm大}}$$

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

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

3.3 末端部被ばくの個人放射線被ばく線量測定をしている場合

皮膚の等価線量のみが、次のようにかわります。

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

4. 対象とするデータ

弊社のガラスバッジサービスの申し込みをされており、令和2年4月1日から令和3年3月31日までの間で1回以上個人線量計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年線量の区分を設け、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、個人線量計によって変わりますが、例えば「10超」は、10Sv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、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表は平均年実効線量、水晶体・皮膚の集団等価線量を示しています。

年実効線量が50mSvを超えた人は、1人でした。

Table 1 a, 1 b 業種別の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 個人放射線被ばく線量測定区分別の過剰被ばく人数と平均年線量並びに等価線量の実効線量に対する比

Table 6 過去5年間の年実効線量の年度推移

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 1 dは、末端部被ばく線量計のみ使用者のデータが含まれています。

Table 6の線量区分は、放射線同位元素等の規制に関する法律の「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」のそれぞれの線量分布の区分に合わせました。

Table 1 a
業種別の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(%)
(R2.4.1~R3.3.31)	

年実効線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣医療		全 体	
X	171,682 0.00	78.19	36,332 0.00	93.92	35,995 0.00	96.73	10,275 0.00	96.52	254,284 0.00	83.07
0.10以下	10,966 1,096.60	4.99 2.18	602 60.20	1.56 2.18	429 42.90	1.15 3.88	107 10.70	1.01 4.24	12,104 1,210.40	3.95 2.22
0.11~0.20	5,938 1,187.60	2.70 2.36	250 50.00	0.65 1.81	122 24.40	0.33 2.21	51 10.20	0.48 4.04	6,361 1,272.20	2.08 2.33
0.21~0.30	3,800 1,140.00	1.73 2.26	179 53.70	0.46 1.95	76 22.80	0.20 2.06	36 10.80	0.34 4.28	4,091 1,227.30	1.34 2.25
0.31~0.40	2,917 1,166.80	1.33 2.32	126 50.40	0.33 1.83	59 23.60	0.16 2.14	26 10.40	0.24 4.12	3,128 1,251.20	1.02 2.30
0.41~0.50	2,416 1,208.00	1.10 2.40	88 44.00	0.23 1.60	38 19.00	0.10 1.72	23 11.50	0.22 4.56	2,565 1,282.50	0.84 2.35
0.51~0.60	2,022 1,213.20	0.92 2.41	74 44.40	0.19 1.61	42 25.20	0.11 2.20	20 12.00	0.19 4.76	2,158 1,294.80	0.70 2.38
0.61~0.70	1,649 1,154.30	0.75 2.29	65 45.50	0.17 1.65	27 18.90	0.07 1.71	19 13.30	0.18 5.27	1,760 1,232.00	0.57 2.26
0.71~0.80	1,529 1,223.20	0.70 2.43	55 44.00	0.14 1.60	27 21.60	0.07 1.96	8 6.40	0.08 2.54	1,619 1,295.20	0.53 2.38
0.81~0.90	1,383 1,244.70	0.63 2.47	64 57.60	0.17 2.09	25 22.50	0.07 2.04	10 9.00	0.09 3.57	1,482 1,333.80	0.48 2.45
0.91~1.00	1,337 1,337.00	0.61 2.65	52 52.00	0.13 1.89	22 22.00	0.06 1.99	9 9.00	0.08 3.57	1,420 1,420.00	0.46 2.61
1.01~2.00	7,492 10,903.50	3.41 21.64	398 579.30	1.03 21.02	195 289.20	0.52 26.18	44 60.20	0.41 23.87	8,129 11,832.20	2.66 21.72
2.01~3.00	2,836 7,034.80	1.29 13.96	167 415.60	0.43 15.08	66 164.90	0.18 14.93	9 23.30	0.08 9.24	3,078 7,638.60	1.01 14.02
3.01~4.00	1,378 4,819.00	0.63 9.57	102 356.70	0.26 12.94	43 150.50	0.12 13.62	0 0.00	0.00 0.00	1,523 5,326.20	0.50 9.78
4.01~5.00	773 3,483.80	0.35 6.92	58 261.70	0.15 9.50	14 63.00	0.04 5.70	1 4.20	0.01 1.67	846 3,812.70	0.28 7.00
5.01~6.00	454 2,502.50	0.21 4.97	21 113.10	0.05 4.10	16 88.90	0.04 8.05	4 21.00	0.04 8.33	495 2,725.50	0.16 5.00
6.01~7.00	288 1,882.40	0.13 3.74	9 57.40	0.02 2.08	6 39.70	0.02 3.59	0 0.00	0.00 0.00	303 1,979.50	0.10 3.63
7.01~8.00	179 1,345.20	0.08 2.67	11 83.80	0.03 3.04	4 30.00	0.01 2.72	1 7.50	0.01 2.97	195 1,466.50	0.06 2.69
8.01~9.00	140 1,191.80	0.06 2.37	4 33.20	0.01 1.20	3 25.70	0.01 2.33	0 0.00	0.00 0.00	147 1,250.70	0.05 2.30
9.01~10.00	98 938.00	0.04 1.86	9 85.50	0.02 3.10	1 9.80	0.00 0.89	0 0.00	0.00 0.00	108 1,033.30	0.04 1.90
10.01~15.00	198 2,357.70	0.09 4.68	15 184.60	0.04 6.70	0 0.00	0.00 0.00	3 32.70	0.03 12.97	216 2,575.00	0.07 4.73
15.01~20.00	59 1,004.70	0.03 1.99	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	59 1,004.70	0.02 1.84
20.01~25.00	23 500.90	0.01 0.99	2 46.60	0.01 1.69	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	25 547.50	0.01 1.00
25.01~30.00	7 186.40	0.00 0.37	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	7 186.40	0.00 0.34
30.01~40.00	6 202.30	0.00 0.40	1 36.70	0.00 1.33	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	7 239.00	0.00 0.44
40.01~50.00	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	0 0.00	0.00 0.00
50.00超過	1 50.50	0.00 0.10	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 50.50	0.00 0.09
合 計	219,571 50,374.90	100.00 100.00	38,684 2,756.00	100.00 100.00	37,210 1,104.60	100.00 100.00	10,646 252.20	100.00 100.00	306,111 54,487.70	100.00 100.00

Table 1 b

	医 療	工 業	研究教育	獣医療	合 計	
平均年実効線量(mSv)	0.23	0.07	0.03	0.02	0.18	
水 晶 体	集団等価線量(manmSv)	137,281.90	3,112.20	1,532.60	382.60	142,309.30
	平均年等価線量(mSv)	0.63	0.08	0.04	0.04	0.46
皮 膚	集団等価線量(manmSv)	156,510.40	5,203.60	3,118.30	423.60	165,255.90
	平均年等価線量(mSv)	0.71	0.13	0.08	0.04	0.54

Table 1 c
業種別の年等価線量(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(%)
(R2.4.1~R3.3.31)	

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣 医 療		全 体	
X	158,485 0.00	72.18	36,151 0.00	93.45	35,853 0.00	96.35	10,137 0.00	95.22	240,626 0.00	78.61
0.10以下	10,993 1,099.30	5.01 0.80	646 64.60	1.67 2.08	452 45.20	1.21 2.95	135 13.50	1.27 3.53	12,226 1,222.60	3.99 0.86
0.11~1.00	24,913 12,126.60	11.35 8.83	1,016 466.30	2.63 14.98	493 226.60	1.32 14.79	276 130.30	2.59 34.06	26,698 12,949.80	8.72 9.10
1.01~5.00	18,541 42,400.10	8.44 30.89	766 1,701.70	1.98 54.68	362 768.40	0.97 50.14	89 154.10	0.84 40.28	19,758 45,024.30	6.45 31.64
5.01~10.00	3,846 26,975.20	1.75 19.65	84 570.60	0.22 18.33	41 270.50	0.11 17.65	6 43.10	0.06 11.27	3,977 27,859.40	1.30 19.58
10.01~20.00	1,942 27,066.60	0.88 19.72	18 224.80	0.05 7.22	3 43.80	0.01 2.86	3 41.60	0.03 10.87	1,966 27,376.80	0.64 19.24
20.01~30.00	505 12,305.30	0.23 8.96	2 46.70	0.01 1.50	4 97.60	0.01 6.37	0 0.00	0.00 0.00	511 12,449.60	0.17 8.75
30.01~50.00	274 10,263.10	0.12 7.48	1 37.50	0.00 1.20	2 80.50	0.01 5.25	0 0.00	0.00 0.00	277 10,381.10	0.09 7.29
50.01~100.00	68 4,599.70	0.03 3.35	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	68 4,599.70	0.02 3.23
100.01~150.00	4 446.00	0.00 0.32	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	4 446.00	0.00 0.31
150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	0 0.00	0.00 0.00
合 計	219,571 137,281.90	100.00 100.00	38,684 3,112.20	100.00 100.00	37,210 1,532.60	100.00 100.00	10,646 382.60	100.00 100.00	306,111 142,309.30	100.00 100.00

Table 1 d
業種別の年等価線量(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(%)
(R2.4.1~R3.3.31)	

年等価線量(mSv)	医 療		工 業		研究教育		獣 医 療		全 体	
X	157,359 0.00	71.66	36,159 0.00	93.47	35,836 0.00	96.30	10,114 0.00	95.00	239,468 0.00	78.22
0.10以下	10,967 1,096.70	4.99 0.70	612 61.20	1.58 1.18	422 42.20	1.13 1.35	141 14.10	1.32 3.33	12,142 1,214.20	3.97 0.73
0.11~1.00	24,912 12,080.70	11.34 7.71	984 446.50	2.54 8.58	491 223.90	1.32 7.18	285 134.30	2.68 31.70	26,672 12,885.40	8.71 7.79
1.01~5.00	19,144 44,277.70	8.72 28.26	715 1,570.30	1.85 30.18	337 743.30	0.91 23.84	96 169.80	0.90 40.08	20,292 46,761.10	6.63 28.27
5.01~10.00	4,087 28,617.90	1.86 18.27	116 828.40	0.30 15.92	57 396.00	0.15 12.70	5 37.80	0.05 8.92	4,265 29,880.10	1.39 18.06
10.01~20.00	2,067 28,749.70	0.94 18.35	58 837.20	0.15 16.09	31 444.60	0.08 14.26	5 67.60	0.05 15.96	2,161 30,099.10	0.71 18.20
20.01~50.00	912 26,425.60	0.42 16.87	33 987.90	0.09 18.98	33 970.40	0.09 31.12	0 0.00	0.00 0.00	978 28,383.90	0.32 17.16
50.01~100.00	110 7,458.50	0.05 4.76	7 472.10	0.02 9.07	4 297.90	0.01 9.55	0 0.00	0.00 0.00	121 8,228.50	0.04 4.97
100.01~300.00	30 4,407.40	0.01 2.81	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	30 4,407.40	0.01 2.66
300.01~500.00	6 2,312.20	0.00 1.48	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	6 2,312.20	0.00 1.40
500超過	2 1,232.50	0.00 0.79	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	2 1,232.50	0.00 0.75
合 計	219,596 156,658.90	100.00 100.00	38,684 5,203.60	100.00 100.00	37,211 3,118.30	100.00 100.00	10,646 423.60	100.00 100.00	306,137 165,404.40	100.00 100.00

Table 2a
医療関係の業態別の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(%)
(R2.4.1~R3.3.1)	

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									
X	31,499 0.00	81.86	85,476 0.00	71.76	416 0.00	95.63	19,238 0.00	97.20	35,053 0.00	83.97
0.10以下	1,871 187.10	4.86 3.42	7,299 729.90	6.13 1.98	5 0.50	1.15 3.62	175 17.50	0.88 4.71	1,616 161.60	3.87 2.10
0.11~0.20	1,044 208.80	2.71 3.82	4,050 810.00	3.40 2.20	2 0.40	0.46 2.90	74 14.80	0.37 3.98	768 153.60	1.84 2.00
0.21~0.30	575 172.50	1.49 3.16	2,660 798.00	2.23 2.17	2 0.60	0.46 4.35	39 11.70	0.20 3.15	524 157.20	1.26 2.05
0.31~0.40	449 179.60	1.17 3.29	2,029 811.60	1.70 2.20	2 0.80	0.46 5.80	43 17.20	0.22 4.63	394 157.60	0.94 2.05
0.41~0.50	341 170.50	0.89 3.12	1,737 868.50	1.46 2.36	2 1.00	0.46 7.25	27 13.50	0.14 3.63	309 154.50	0.74 2.01
0.51~0.60	305 183.00	0.79 3.35	1,412 847.20	1.19 2.30	2 1.20	0.46 8.70	27 16.20	0.14 4.36	276 165.60	0.66 2.16
0.61~0.70	233 163.10	0.61 2.99	1,192 834.40	1.00 2.26	0 0.00	0.00 0.00	18 12.60	0.09 3.39	206 144.20	0.49 1.88
0.71~0.80	222 177.60	0.58 3.25	1,062 849.60	0.89 2.31	0 0.00	0.00 0.00	18 14.40	0.09 3.87	227 181.60	0.54 2.36
0.81~0.90	170 153.00	0.44 2.80	1,028 925.20	0.86 2.51	1 0.90	0.23 6.52	14 12.60	0.07 3.39	170 153.00	0.41 1.99
0.91~1.00	189 189.00	0.49 3.46	945 945.00	0.79 2.56	0 0.00	0.00 0.00	18 18.00	0.09 4.84	185 185.00	0.44 2.41
1.01~2.00	1,018 1,483.40	2.65 27.15	5,381 7,854.50	4.52 21.32	2 2.80	0.46 20.29	70 92.00	0.35 24.75	1,021 1,470.80	2.45 19.15
2.01~3.00	267 659.70	0.69 12.07	2,146 5,330.90	1.80 14.47	0 0.00	0.00 0.00	16 40.00	0.08 10.76	407 1,004.20	0.97 13.08
3.01~4.00	143 499.70	0.37 9.15	1,039 3,633.70	0.87 9.86	0 0.00	0.00 0.00	3 11.10	0.02 2.99	193 674.50	0.46 8.78
4.01~5.00	48 213.90	0.12 3.91	594 2,682.00	0.50 7.28	0 0.00	0.00 0.00	3 13.00	0.02 3.50	128 574.90	0.31 7.49
5.01~6.00	46 253.30	0.12 4.64	322 1,776.90	0.27 4.82	1 5.60	0.23 40.58	3 15.70	0.02 4.22	82 451.00	0.20 5.87
6.01~7.00	16 103.40	0.04 1.89	224 1,464.30	0.19 3.97	0 0.00	0.00 0.00	1 6.40	0.01 1.72	47 308.30	0.11 4.01
7.01~8.00	13 96.90	0.03 1.77	134 1,006.00	0.11 2.73	0 0.00	0.00 0.00	4 30.20	0.02 8.12	28 212.10	0.07 2.76
8.01~9.00	4 33.10	0.01 0.61	110 936.60	0.09 2.54	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	26 222.10	0.06 2.89
9.01~10.00	7 65.40	0.02 1.20	67 641.30	0.06 1.74	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	24 231.30	0.06 3.01
10.01~15.00	12 141.00	0.03 2.58	147 1,743.90	0.12 4.73	0 0.00	0.00 0.00	1 14.80	0.01 3.98	38 458.00	0.09 5.96
15.01~20.00	2 35.20	0.01 0.64	40 677.60	0.03 1.84	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	17 291.90	0.04 3.80
20.01~25.00	3 62.30	0.01 1.14	17 374.50	0.01 1.02	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	3 64.10	0.01 0.83
25.01~30.00	0 0.00	0.00 0.00	5 134.00	0.00 0.36	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	2 52.40	0.00 0.68
30.01~40.00	1 32.40	0.00 0.59	5 169.90	0.00 0.46	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	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	0 0.00	0.00 0.00	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	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	1 50.50	0.00 0.66
合計	38,478 5,463.90	100.00 100.00	119,121 36,845.50	100.00 100.00	435 13.80	100.00 100.00	19,792 371.70	100.00 100.00	41,745 7,680.00	100.00 100.00

Table 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)	0.14	0.31	0.03	0.02	0.18	
水晶体	集団等価線量(manmSv)	16,539.40	104,746.60	16.30	507.40	15,472.20
	平均年等価線量(mSv)	0.43	0.88	0.04	0.03	0.37
皮膚	集団等価線量(manmSv)	20,361.70	116,319.60	18.90	875.10	18,935.10
	平均年等価線量(mSv)	0.53	0.98	0.04	0.04	0.45

Table 3 a

医療関係の職種別の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(%)
(R2.41~R3.3.31)	

年実効線量(mSv)	医 師		技 師		看 護 師		そ の 他	
X	65.170 0.00	79.71	15,101 0.00	45.93	49,705 0.00	82.85	22,468 0.00	89.34
0.10以下	3,955 395.50	4.84 1.94	2,639 263.90	8.03 1.23	3,314 331.40	5.52 5.36	883 88.30	3.51 4.61
0.11~0.20	2,140 428.00	2.62 2.10	1,690 338.00	5.14 1.57	1,605 321.00	2.68 5.19	429 85.80	1.71 4.48
0.21~0.30	1,423 426.90	1.74 2.10	1,199 359.70	3.65 1.67	922 276.60	1.54 4.47	217 65.10	0.86 3.40
0.31~0.40	999 399.60	1.22 1.96	1,011 404.40	3.08 1.88	700 280.00	1.17 4.53	164 65.60	0.65 3.42
0.41~0.50	790 395.00	0.97 1.94	935 467.50	2.84 2.17	540 270.00	0.90 4.37	124 62.00	0.49 3.23
0.51~0.60	667 400.20	0.82 1.97	803 481.80	2.44 2.24	426 255.60	0.71 4.13	99 59.40	0.39 3.10
0.61~0.70	529 370.30	0.65 1.82	703 492.10	2.14 2.28	321 224.70	0.54 3.63	78 54.60	0.31 2.85
0.71~0.80	432 345.60	0.53 1.70	706 564.80	2.15 2.62	303 242.40	0.51 3.92	70 56.00	0.28 2.92
0.81~0.90	403 362.70	0.49 1.78	657 591.30	2.00 2.75	250 225.00	0.42 3.64	59 53.10	0.23 2.77
0.91~1.00	339 339.00	0.41 1.66	671 671.00	2.04 3.12	248 248.00	0.41 4.01	61 61.00	0.24 3.18
1.01~2.00	2,145 3,172.80	2.62 15.58	3,878 5,635.90	11.80 26.17	1,103 1,579.10	1.84 25.53	296 423.70	1.18 22.10
2.01~3.00	967 2,426.80	1.18 11.92	1,422 3,512.00	4.33 16.31	334 820.20	0.56 13.26	97 235.80	0.39 12.30
3.01~4.00	615 2,145.20	0.75 10.53	616 2,159.20	1.87 10.03	102 357.60	0.17 5.78	42 145.90	0.17 7.61
4.01~5.00	369 1,661.20	0.45 8.16	321 1,443.40	0.98 6.70	58 266.70	0.10 4.31	22 99.50	0.09 5.19
5.01~6.00	242 1,336.80	0.30 6.56	184 1,011.60	0.56 4.70	15 82.70	0.03 1.34	10 55.70	0.04 2.91
6.01~7.00	154 1,004.70	0.19 4.93	111 726.10	0.34 3.37	12 78.90	0.02 1.28	10 66.30	0.04 3.46
7.01~8.00	94 707.40	0.11 3.47	60 450.00	0.18 2.09	18 135.50	0.03 2.19	3 22.10	0.01 1.15
8.01~9.00	82 695.10	0.10 3.41	45 384.70	0.14 1.79	7 60.90	0.01 0.98	6 51.10	0.02 2.67
9.01~10.00	60 575.40	0.07 2.83	33 314.60	0.10 1.46	3 28.20	0.01 0.46	2 19.80	0.01 1.03
10.01~15.00	119 1,407.70	0.15 6.91	66 794.70	0.20 3.69	6 68.10	0.01 1.10	6 72.40	0.02 3.78
15.01~20.00	36 617.40	0.04 3.03	18 301.80	0.05 1.40	2 32.70	0.00 0.53	3 52.80	0.01 2.75
20.01~25.00	19 412.30	0.02 2.02	3 67.70	0.01 0.31	0 0.00	0.00 0.00	1 20.90	0.00 1.09
25.01~30.00	5 135.10	0.01 0.66	2 51.30	0.01 0.24	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
30.01~40.00	6 202.30	0.01 0.99	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00	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	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 50.50	0.00 0.23	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
合 計	81,760 20,363.00	100.00 100.00	32,875 21,538.00	100.00 100.00	59,994 6,185.30	100.00 100.00	25,150 1,916.90	100.00 100.00

Table 3 b

	医 師	技 師	看 護 師	そ の 他
平均年実効線量(mSv)	0.25	0.66	0.10	0.08
水晶体	集団等価線量(manmSv)	64,632.20	39,123.80	27,506.80
	平均年等価線量(mSv)	0.79	1.19	0.46
皮膚	集団等価線量(manmSv)	76,116.20	43,405.80	28,812.90
	平均年等価線量(mSv)	0.93	1.32	0.48

Table 4 a
工業関係の業態別の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(%)
(R2.4.1~R3.3.31)	

年実効線量(mSv)	一般工業用		非破壊検査	
	人数(人)	線量(%)	人数(人)	線量(%)
X	34,360 0.00	95.00	1,972 0.00	78.44
0.10以下	475 47.50	1.31 2.26	127 12.70	5.05 1.94
0.11~0.20	187 37.40	0.52 1.78	63 12.60	2.51 1.93
0.21~0.30	137 41.10	0.38 1.95	42 12.60	1.67 1.93
0.31~0.40	95 38.00	0.26 1.81	31 12.40	1.23 1.90
0.41~0.50	62 31.00	0.17 1.47	26 13.00	1.03 1.99
0.51~0.60	57 34.20	0.16 1.63	17 10.20	0.68 1.56
0.61~0.70	46 32.20	0.13 1.53	19 13.30	0.76 2.04
0.71~0.80	39 31.20	0.11 1.48	16 12.80	0.64 1.96
0.81~0.90	46 41.40	0.13 1.97	18 16.20	0.72 2.48
0.91~1.00	39 39.00	0.11 1.85	13 13.00	0.52 1.99
1.01~2.00	311 452.90	0.86 21.54	87 126.40	3.46 19.35
2.01~3.00	123 306.00	0.34 14.55	44 109.60	1.75 16.78
3.01~4.00	90 314.40	0.25 14.95	12 42.30	0.48 6.48
4.01~5.00	46 208.10	0.13 9.90	12 53.60	0.48 8.21
5.01~6.00	19 102.10	0.05 4.86	2 11.00	0.08 1.68
6.01~7.00	9 57.40	0.02 2.73	0 0.00	0.00 0.00
7.01~8.00	10 75.80	0.03 3.60	1 8.00	0.04 1.22
8.01~9.00	3 24.90	0.01 1.18	1 8.30	0.04 1.27
9.01~10.00	7 66.80	0.02 3.18	2 18.70	0.08 2.86
10.01~15.00	8 99.50	0.02 4.73	7 85.10	0.28 13.03
15.01~20.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
20.01~25.00	1 22.00	0.00 1.05	1 24.60	0.04 3.77
25.01~30.00	0 0.00	0.00 0.00	0 0.00	0.00 0.00
30.01~40.00	0 0.00	0.00 0.00	1 36.70	0.04 5.62
40.01~50.00	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	0 0.00	0.00 0.00
合計	36,170 2,102.90	100.00 100.00	2,514 653.10	100.00 100.00

Table 4 b

		一般工業用	非破壊検査
平均年実効線量(mSv)		0.06	0.26
水 晶 体	集団等価線量(manmSv)	2,452.50	659.70
	平均年等価線量(mSv)	0.07	0.26
皮 膚	集団等価線量(manmSv)	4,567.00	636.60
	平均年等価線量(mSv)	0.13	0.25

Table 5 個人放射線被ばく線量測定区分別の過剰被ばく人数と平均年線量並びに等価線量の実効線量に対する比

	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放射線被ばく線量測定を行っている集団 均等・末端： 体幹部均等被ばくとして個人放射線被ばく線量測定を行い、さらに末端部被ばくの個人放射線被ばく線量測定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放射線被ばく線量測定を行っている集団 不均等・末端： 体幹部不均等被ばくとして個人放射線被ばく線量測定を行い、さらに末端部被ばくの個人放射線被ばく線量測定も併用している集団
人 数 比 率 (%)	68	1	29	1	
実効線量で50mSvを超えた人数(人)	1	0	0	0	
平均年実効線量 (mSv)	0.09	0.55	0.35	0.63	
水 晶 体	平均年等価線量 (mSv)	0.10	0.61	1.25	1.73
	実効線量に対する比	1.15	1.10	3.57	2.74
皮 膚	平均年等価線量 (mSv)	0.10	3.38	1.28	4.31
	実効線量に対する比	1.14	6.13	3.66	6.83

Table 6 過去5年間の年実効線量の年度推移

年実効線量	平成28年度		平成29年度		平成30年度		令和元年度		令和2年度	
	人数(人)	人数(%)								
X	232,664	81.75	237,287	81.89	242,251	82.32	251,834	83.06	254,284	83.07
0.10以下	11,843	4.16	12,036	4.15	12,123	4.12	12,006	3.96	12,104	3.95
0.11~0.20	6,133	2.15	6,225	2.15	6,177	2.10	6,206	2.05	6,361	2.08
0.21~0.30	4,151	1.46	4,097	1.41	4,189	1.42	3,986	1.31	4,091	1.34
0.31~0.40	3,082	1.08	3,192	1.10	3,083	1.05	3,121	1.03	3,128	1.02
0.41~0.50	2,487	0.87	2,520	0.87	2,443	0.83	2,524	0.83	2,565	0.84
0.51~0.60	2,040	0.72	2,059	0.71	2,045	0.69	2,101	0.69	2,158	0.70
0.61~0.70	1,791	0.63	1,838	0.63	1,787	0.61	1,822	0.60	1,760	0.57
0.71~0.80	1,631	0.57	1,651	0.57	1,610	0.55	1,548	0.51	1,619	0.53
0.81~0.90	1,478	0.52	1,432	0.49	1,502	0.51	1,470	0.48	1,482	0.48
0.91~1.00	1,339	0.47	1,291	0.45	1,398	0.48	1,393	0.46	1,420	0.46
1.01~2.00	8,325	2.92	8,456	2.92	8,345	2.84	8,165	2.69	8,129	2.66
2.01~3.00	3,232	1.14	3,283	1.13	3,141	1.07	3,032	1.00	3,078	1.01
3.01~4.00	1,632	0.57	1,609	0.56	1,583	0.54	1,515	0.50	1,523	0.50
4.01~5.00	909	0.32	930	0.32	900	0.31	851	0.28	846	0.28
5.01~6.00	605	0.21	575	0.20	497	0.17	528	0.17	495	0.16
6.01~7.00	352	0.12	349	0.12	348	0.12	305	0.10	303	0.10
7.01~8.00	236	0.08	270	0.09	217	0.07	201	0.07	195	0.06
8.01~9.00	180	0.06	146	0.05	167	0.06	130	0.04	147	0.05
9.01~10.00	114	0.04	133	0.05	116	0.04	100	0.03	108	0.04
10.01~15.00	272	0.10	263	0.09	242	0.08	235	0.08	216	0.07
15.01~20.00	77	0.03	78	0.03	77	0.03	69	0.02	59	0.02
20.01~25.00	25	0.01	23	0.01	24	0.01	22	0.01	25	0.01
25.01~30.00	12	0.00	14	0.00	8	0.00	10	0.00	7	0.00
30.01~40.00	7	0.00	12	0.00	7	0.00	6	0.00	7	0.00
40.01~50.00	1	0.00	6	0.00	3	0.00	2	0.00	0	0.00
50.00超過	0	0.00	1	0.00	1	0.00	2	0.00	1	0.00
合 計	284,618	100.00	289,776	100.00	294,284	100.00	303,184	100.00	306,111	100.00
集団線量 (manmSv)	58,337.67		59,007.90		56,755.16		54,853.78		54,487.70	
平均年線量 (mSv)	0.20		0.20		0.19		0.18		0.18	

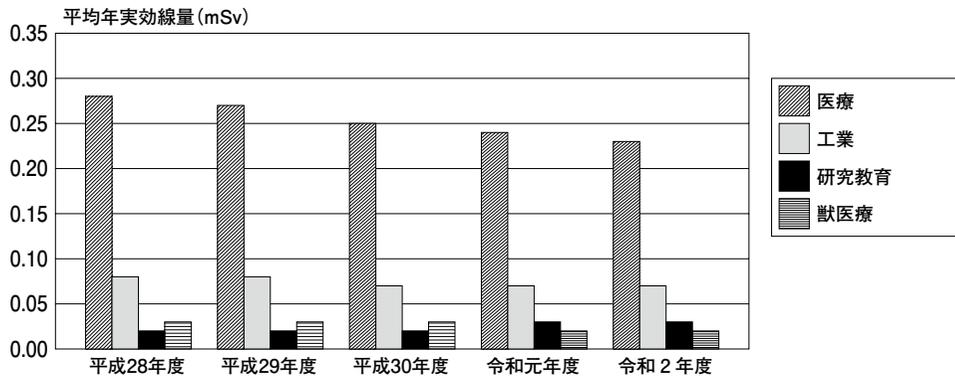


Fig. 1 過去5年間の平均年実効線量(業種別)

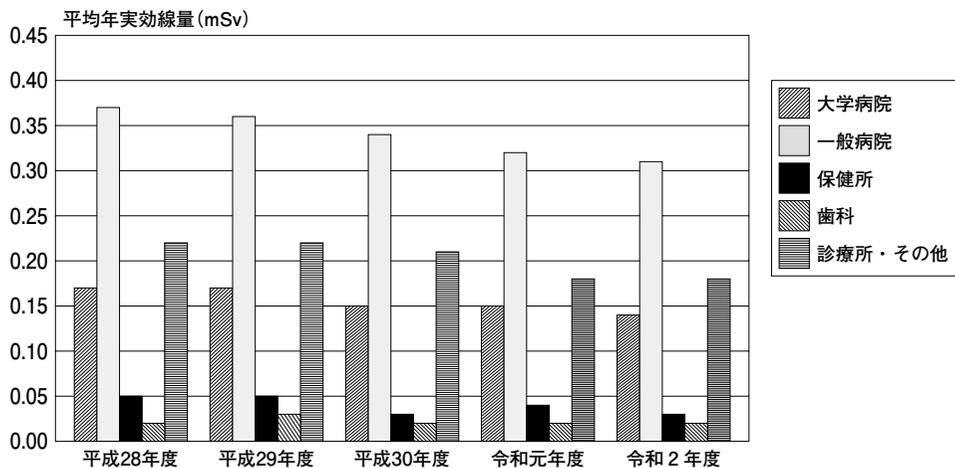


Fig. 2 過去5年間の平均年実効線量(医療関係)

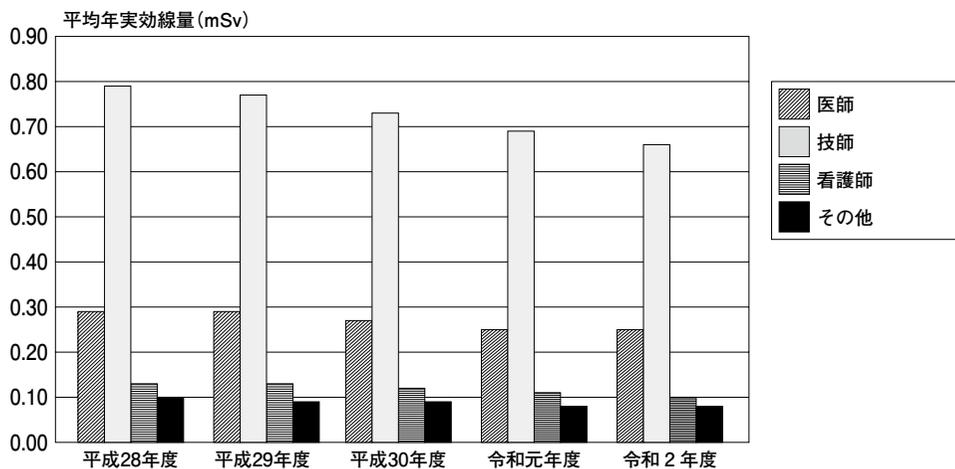


Fig. 3 過去5年間の平均年実効線量(医療関係の職種別)



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

胃がんから大腸がん

かつて、日本人のがんの代表は胃がんでした。たとえば日本でも私が生まれた1960年の男性のがん死亡の半分以上が胃がんでした。しかし今、胃がんは減っています。年齢構成を考慮した胃がんによる10万人あたりの死亡数（年齢調整がん死亡率）はこの10年で3割も減りました。

胃がんの原因の98%が子供のころのヘリコバクター・ピロリ菌（ピロリ菌）の感染です。冷蔵庫の普及や上水道の完備など、衛生状態がよくなり、ピロリ菌の感染が減っています。現在の70歳以上では8割近くが感染していましたが、大学生で7%程度、中学3年生では4%にすぎません。米国では胃がんは、白血病や膵臓がんより少ない希少がんです。40年代にはかつての日本同様、がんのトップでした。日本より30年も早く冷蔵庫が普及して劇的に減ったのです。日本でもさらに胃がんは減っていくはずです。

胃がんが代わって今、日本で患者数が最も多いのが大腸がんです。感染型、アジア型の胃がんが異なり、大腸がんは肥満や運動不足、肉食などがリスクを高める欧米型のがんの代表です。胃がんから大腸がんへのトップ交代は、がんが社会と共に姿を変える病気であることを端的に示しています。

さて、大腸がんで一年間に亡くなる人の数は「日本>米国」で、人口3億3千万人近いアメリカを日本が凌いでいます。がんは細胞の老化と言える病気ですから、高齢者が多い日本にハンデがあるのは確かです。しかし、日本では、このがんの早期発見がうまくいっていないのは間違いありません。

このがんは早期に見つければほとんど治る病気です。もっとも早期のステージ1では5

年生存率が95%を超えます。早期発見のカギは毎年2回の便潜血検査です。しかし、簡単に痛くもかゆくもないこの検査の受診率は4割程度にとどまります。

そして、もっと問題なのは、便潜血検査で陽性となった人のうち、3割が内視鏡検査を受けていない点です。この理由として、時間がない、費用がかかる（内視鏡による精密検査は保険が効きます）、他、多くの人々が「痔のためだろう」をあげています。

しかし、痔のありなしで、便潜血検査の陽性率はほぼ変わらないというデータもあります。また、痔だけが原因で陽性になる確率はわずか2%程度とされています。

大腸がんの場合、大腸の奥深い場所で出血が起こります。この場合、便はまだ固まっておらず、液体状のままです。がんからの出血は便とよく混ざり合いますから、陽性となる可能も高くなります。しかし、痔は肛門の近くにできますから、便は固体になっていることが多く、出血があったとしても便の表面に付着する程度で、便潜血検査で陰性となる確率が高くなるわけです。痔があろうとなかろうと便潜血検査で陽性となった場合は、内視鏡検査を受ける必要があるわけです。

私の義妹も48歳で大腸がんによって命を落としましたが、やはり、痔と勘違いしていました。便潜血検査で見つかるステージ1の大腸がんの5年生存率は約98%。残念でなりません。

日本とは大腸がん検診の進め方が異なる米国では、50~75歳の6割以上が、過去10年に大腸内視鏡検査を受けています。この結果、もともと日本人よりずっと高かった米国の大腸がんの年齢調整死亡率は過去40年間で半減し、男女とも日本人を下回っています。米国の予防医学の金字塔ですが、日本も負けてはられません。

放射線道場の喫茶室
第11回LNT
鴻 知己

今日、放射線管理の目標は実質的に「放射線被ばくに付随するリスクを一定限度内に抑制すること」となっている。

リスクとは、この場合、“余命短縮の可能性”であり“生命を維持する確率の損失”を意味する。

リスクの管理は線量を介して行われ、線量はリスクの測度と見做される。

しかし、一般的には、リスク(R)と線量(D)の関係は非線形であり、リスクの測度としての線量の加算性はある条件下でのみ成り立つものである。

線量は物理量としては“加重フルエンス”に他ならず、その値域は $|0, \infty|$ であるのに対し、リスクはその実体を確率とするので値域を $|0, 1|$ とする。両者の関係は次の数式

$$R = 1 - \exp\{- (D/D_0)\} \quad (1)$$

で表現できる。

$$D/D_0 \ll 1 \quad (2)$$

のとき、(1)式は

$$R = D/D_0 \quad (3)$$

となり、リスクは線量に直線比例することになる。

放射線の安全管理では、通常、線量とリスクの間に「線形無閾値(LNT)」の存在を想定しているが、それは(3)式が示す内容に他ならない。

LNTは、影響学では仮説、管理学ではモデルと呼ばれる。LNTを表す(3)式が、より一般的な(1)式の、ある条件下での近似であるとするなら、LNTモデルには適用限界が存在することを意味する。

ということは、線量の測定・評価で、通常暗黙裏に想定されている加算性は恒に保証されるものではない、ということになる。

ICRPの現行システムでは公称リスク係数を $5\%/Sv$ としているが、これは $D_0 = 20Sv$ に相当する。放射線防護の実務に於いて、リスクの測度として線量を扱う際、加算性ありとしてよいのは $D \ll 20Sv$ の領域に限定されるの

である。

人はヒトという種の個体であり、他の生物同様“死は1度限り”であり、2回以上死ぬことはありえないので、その意味に於いてもリスクの測度は加算性を持ち得ないものであるが、そもそも関数が非線形なのである。

我々は様々なリスク要因と共存して命の営みが続けていて、生きるとはこれらのリスクとの戦いであるともいえる。

それぞれのリスクについての許容レベル(管理規準)は、個人や社会の価値観に依存するものであり、また本来、要因の如何を問わず統一化されるものでもないので、多種多様である。

個人レベルでは多彩で不揃いとなる“許容レベル”ではあるが、社会の申し合わせとして標準的と見做される“許容レベル”を設定し共有することは、社会にとって望ましいことであろう。それは、最大公約数を取るとか多数決に従うことで、“社会としての許容レベル”を導入するものであり、受容レベルの公称値を定めることを意味する。

筆者の感覚では、通常 $1/1,000$ 以下のリスクは受容可能、 $1/1,000,000$ 以下のリスクは“気にならない”ものである。自分の感覚を人様に押し付ける気持ちは毛頭ないが、“社会の申し合わせ”として“合理的判断基準の公称値(または参照値)としてこの種の申し合わせを持つことは望ましいことと考える。

安全とは「リスクが受容レベルを越えないこと」であり、安心とは「それを確認すること」であるともいえる。リスクの評価には特殊な知識や道具を必要とすることも多く、自由と価値観の多様化を認める社会にあっては、リスク管理の目標設定と方策選択が質・量両面で多様化するのとは避け難いことであるが、そんな中でも、リスク管理は必要であり、それには適用を弁えて使用されるLNTモデルは有用であると考ええる。

公益財団法人原子力安全技術センターからのお知らせ

★講習会について★

講習名／月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
放射線安全管理講習会			○				
医療機関の放射線業務従事者のための放射性同位元素等規制法講習会	○	○			○		○
第1種・第2種・第3種放射線取扱主任者講習			第1種：5回（京都） 第2種：3回（京都） 第3種：5回程度（大阪・東京）				
放射線取扱主任者定期講習	5回程度						
特定放射性同位元素防護管理者定期講習（eラーニング）							○：中旬
核燃料物質の安全管理講習会						○	

※この表は令和3年7月9日現在の計画となります。

最新情報や詳細日程については、当センターのホームページ（下記URL）をご確認ください。

※講習開催（eラーニング以外）については、新型コロナウイルス感染症の拡大状況に伴い国から示されている屋内イベントの開催の在り方を踏まえると共に行政等の指示に従うものとします。

★出版物について★ 出版物のお申込みは、当センターのホームページ（下記URL）にて受付しております。

ホームページURL：https://www.nustec.or.jp/ メールアドレス：kosyu@nustec.or.jp 電話：03-3814-5746

ガラスバッジお問い合わせ専用フリーダイヤルと ガラスバッジ担当事務所の電話番号のご案内

FBNews No.528（2020年12月号）にて、ご案内をしておりますが、改めて「ガラスバッジお問い合わせ専用フリーダイヤル」と「ガラスバッジ担当事務所の電話番号」のご案内をさせていただきます。よろしくお願いたします。

■ ガラスバッジお問い合わせ専用フリーダイヤル

 **0120-506-997**（平日9：00～17：00）

上記フリーダイヤルへおかけいただきますと音声案内が流れます。

音声案内にしたがい、お問い合わせください。

■ ガラスバッジ担当事務所

担当事務所	TEL/FAX	担当都道府県
札幌事務所	TEL：011-206-6801 FAX：011-200-2030	北海道
仙台事務所	TEL：022-727-9572 FAX：022-727-9574	青森県・岩手県・宮城県・秋田県・山形県・福島県
東京事務所	TEL：03-3816-5210 FAX：03-5803-4890	茨城県・栃木県・群馬県・埼玉県・千葉県・東京都・神奈川県・新潟県・山梨県・長野県
名古屋事務所	TEL：052-220-6722 FAX：052-220-6721	富山県・石川県・福井県・岐阜県・静岡県・愛知県・三重県
大阪事務所	TEL：06-6369-1566 FAX：06-6368-2057	滋賀県・京都府・大阪府・兵庫県・奈良県・和歌山県・鳥取県・島根県・岡山県・広島県・山口県・徳島県・香川県・愛媛県・高知県
福岡事務所	TEL：092-262-2235 FAX：092-282-1256	福岡県・佐賀県・長崎県・熊本県・大分県・宮崎県・鹿児島県・沖縄県

就任のごあいさつ



株式会社 **千代田テクノル**
代表取締役社長 **井上 任**

日頃ガラスバッジサービスをご利用賜りありがとうございます。

令和3年7月1日より、株式会社千代田テクノルの代表取締役社長に就任いたしました井上 任（いのうえ あたる）と申します。よろしくお願ひ申し上げます。

弊社は、『放射線の安全利用技術を基礎に人と地球の“安心”を創造する。』を企業理念に、永年に亘り、放射線を取扱う皆様に個人放射線被ばく線量測定サービスをご提供して参りました。新型コロナウイルス感染拡大防止のため、緊急事態宣言の発出、及びまん延防止等重点措置等により、これまでの状況と社会は一変しております。弊社も手洗い・うがいの励行、テレワークの推進、DX（デジタルトランスフォーメーション）への取り組みを実施しております。

茨城県大洗町にございますガラスバッジ測定センター（ラディエーションモニタリングセンター）では新型コロナウイルスの感染防止のため、様々な対策を講じ、稼働を止めることなく皆様へガラスバッジをお届けさせていただいております。

これからも時代の変化に乗り遅れることなく、継続的な改善を進め、より一層のサービス向上に努めて参ります。

また、読者の皆様にお喜びいただけるFBNewsを目指して参ります。

今後ともご愛顧を賜りますよう、重ねてお願ひ申し上げます。

末筆ではございますが、皆様のご健勝と益々のご発展を心よりお祈りいたします。

代表取締役会長	細 田 敏 和
常 務 取 締 役	安 川 弘 則
常 務 取 締 役	赤 座 太 郎
取 締 役	今 井 盟
取 締 役	馬 場 一 郎
取 締 役	小 山 重 成
取 締 役	新 田 浩
取 締 役	尾 崎 英 樹
監 査 役	本 圖 和 夫

サービス部門からのお願い

ガラスバッジを使用しなかったのに報告書が送られてきた?!

平素より弊社のガラスバッジサービスをご利用くださりまして、誠にありがとうございます。

測定センターでは、ガラスバッジご返却の際の「測定依頼票」や「ご使用者変更連絡票」にお客様がご記入された内容に従い、ご使用者情報のメンテナンス処理を行っています。

記入事項	報告書
未使用	発行されます 「未使用」という証明の報告書が出ます
休止 一回休止	発行されません

ご返却いただいたガラスバッジを測定し、「未使用」とご記入があった場合は、「未使用」という表示の報告書を出力いたします。「休止」・「一回休止」とご記入があった場合は、報告書は出力いたしません。

ご使用されなかったガラスバッジについて、「測定依頼票」

や「ご使用者変更連絡票」に「未使用」・「休止」・「一回休止」などを、**明確にご記入**くださいますようお願い申し上げます。



編集後記

- 残暑厳しい毎日が続いておりますが、読者の皆様はいかがお過ごしでしょうか。どうぞご自愛の上お過ごしください。本年も大規模自然災害が発生し、多くの方々が被害に遭われました。また、新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の猛威がなかなか収まりません。お亡くなりになられた方々のご冥福をお祈りするとともに、被害に遭われた方々、COVID-19に罹患されたすべての皆様に心よりお見舞い申し上げます。ワクチンの接種が進み、COVID-19の早期終息を心から願っています。
- 東北大学 サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターセンター長・教授の渡部浩司先生に「DATEプロジェクト-加速器による診断・治療用アイソトープ医薬品開発-」と題して、現在世界的に注目されているセラノスティックの概況、弊社も参加して実施している加速器を用いた革新的医療用ラジオアイソトープの製造に係る研究開発の状況、そして我が国における課題について分かりやすくご説明いただきました。諸外国に比べて我が国の放射性

医薬品の利用はまだまだ限定的です。国民が利益を享受するためにも合理的な規制体系が望まれます。

- 弊社の個人放射線被ばく線量測定サービスをご利用いただいている皆様の個人線量のデータを集計した結果を「令和2年度 個人線量の実態」として本誌に掲載しました。令和2年度の平均年実効線量は0.18mSvで、昨年度と同じでした。また、眼の水晶体の等価線量が20mSvを超過した方も昨年度とほぼ同数の860名(昨年度894名)でした。本年4月から眼の水晶体の等価線量限度が引き下げられました。適切な測定および防護策が行われないと、多くの方々の年限度が超過することが予想されます。
- 私(40代)はお肉が大好きです。中川恵一先生のコラムを拝読して適切な検査の重要性を再認識しました。便潜血検査は毎年行っているものの、これまで大腸内視鏡検査を受けたことがありませんでしたので、次の人間ドックの機会に大腸内視鏡検査にチャレンジ?したいと思います。(小口 靖弘)

FBNews No.537

発行日/2021年9月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 藤森昭彦
篠崎和佳子 高橋英典 廣田盛一 前原風太 山口義樹

発行所/株式会社千代田テクノ

所在地/〒113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル

電話/03-3252-2390 FAX/03-5297-3887

<https://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364円)