



Photo Yuichi Ito

Index

アイソトープ治療の現状と展望	細野 眞	1
Medical Dosimetry(医療における線量測定)に関するパネルディスカッション 11th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring ～第11回 放射線モニタリングに係る国際ワークショップ～	ステファン・マッキーバー	4
九州大学 アイソトープ統合安全管理センターの紹介 －新施設の建設、移転、センターの改組まで－	杉原 真司	9
ガンマ・キャッチャーの開発と実用化について		13
2016年 製薬放射線研修会(第18回製薬放射線コンファレンス総会).....		16
JST成果発表・展示会「復興から新しい東北の創生へ －科学技術の英知・絆の成果－ in 福島」に出展しました	杉山 誠	17
放射線取扱主任者試験受験のための 第59回放射線安全技術講習会開催のお知らせ		18
[サービス部門からのお知らせ] GBキャリアを集荷依頼したら		19

アイソトープ治療の現状と展望



細野 眞*

1. はじめに

アイソトープ治療（放射性同位元素（RI）内用療法、核医学治療、RI治療、英語では Radionuclide Therapy、RNT）とは、組織に親和性のある放射性薬剤を患者さんに投与して体内で放射線照射を行う治療法である。主に悪性腫瘍を対象にするが、甲状腺機能亢進症などの良性疾患を対象とする場合もある。アイソトープ治療は、さまざまな腫瘍に対して有用であり、内科系・外科系さまざまな領域の専門医が取り組んでいる手法であるが、核医学医の立場から考えると今後の核医学診療において最も発展を期待でき核医学の独自性を発揮できる分野のひとつであると言える。

2. アイソトープ治療の現状

アイソトープ治療においては、主にβ線を放出する核種を用いるが、これはβ線がγ線に比べて飛程が短く、生体組織の局所にエネルギーを与える性質をより強く持つからである。また最近α線を放出する核種が臨床導入されたがこれは後述する。

国内のアイソトープ治療実施件数は右肩上がりに増加し、2002年から2012年にかけて年

間実施件数が2倍以上になった（図1）。

アイソトープ治療として、甲状腺機能亢進症・分化型甲状腺癌に対する¹³¹I（ヨウ素-131）、褐色細胞腫・神経芽腫に対する¹³¹I-MIBGが長年用いられてきた。これらは放射性薬剤の組織への特異的な取込み機序を応用した古典的かつ優れた分子標的療法と言える。甲状腺癌における¹³¹Iについては最近の展開として、rhTSH（遺伝子組換えヒト型甲状腺刺激ホルモン）が2008年に診断補助薬として認可され、2012年にアブレーションの補助薬としての効能追加を受けた。ちなみに、アブレーションとは、「分化型甲状腺癌で甲状腺全摘又は準全摘術を施行された遠隔転移を認めない患者における残存甲状腺組織の放射性ヨウ素による除去治療」のことであり、予後を改善するとして海外では標準治療となっている。さて、¹³¹Iの取扱いについて、500MBqという体内残留量の退出基準ではなく、患者毎の積算線量に基づく退出基準に従うことが法令上許されている。これによって治療病室に入院することなく1,110MBq（30mCi）程度の投与をして、残存甲状腺アブレーションを外来で実施することが可能であり、2010年に「放射性医薬品を投与された患者の退出について」（平成22年11月8日医政指発第1108第2号厚生労働省医政局指導課長通知）、および関連学会によるガイドラインが示された。

* Makoto HOSONO 近畿大学高度先端総合医療センター 教授

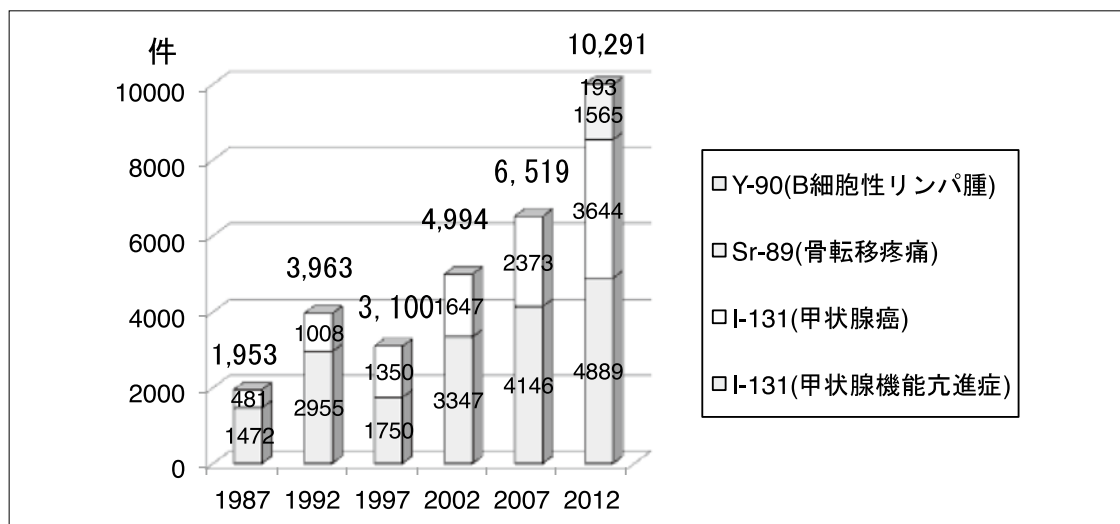


図1 国内のアイソトープ治療の推移
(第7回全国核医学診療実態調査報告書 日本アイソトープ協会医学・薬学部にに基づく)

さて、2007年に⁸⁹Sr（ストロンチウム-89）、2008年に⁹⁰Y（イットリウム-90）ゼヴァリンが相次いで国内導入され、⁸⁹Sr、⁹⁰Yは治療病室を必要としないため使用上の制約が少なく、多くの施設で扱うことができるので、核医学治療の普及に大きなインパクトを与えている。ストロンチウムは元素の性質としてカルシウムと同族体（アルカリ土類金属）であるので、固形癌の骨転移により疼痛を持つ患者において、⁸⁹Srが骨転移巣に集積してβ線照射を与えることにより、疼痛に関わる腫瘍や生体メカニズムを抑制する。既に国内でも広く用いられ固形癌の骨転移疼痛緩和において不可欠の療法となっており、患者のQOL向上に役立っている。⁹⁰Yゼヴァリンは放射能標識モノクローナル抗体製剤として初めて国内認可された薬剤であり大きな意義を持つ。B細胞性非ホジキンリンパ腫に発現しているCD20という抗原を認識するモノクローナル抗体にβ放出核種である⁹⁰Yを結合させたものである。放射免疫療法薬として現時点で治療抵抗性の低悪性度B細胞性非ホジキンリンパ腫・マンツル細胞リンパ腫に対して適応を持つが、B細胞性非ホジキ

ンリンパ腫の標準治療に組み込まれ、標準治療を一新する潜在力を持った治療薬であり、その応用範囲が拡大しつつある。

3. 最近の動向と展望

アイソトープ治療の今後の展開としては、⁸⁹Srや⁹⁰Yゼヴァリンが化学療法などの他の治療法との併用が有効であるとの知見が数々報告されている。例えばB細胞性非ホジキンリンパ腫に対する⁹⁰Yゼヴァリンは初回化学療法に続く地固め療法に用いて予後を改善することが示されて欧米でその承認を得ている。また⁹⁰Yゼヴァリンを大量化学療法・幹細胞移植と併用したサルベージ療法の報告がある。

ヨーロッパでの最近の動向として、ルテチウム-177 (¹⁷⁷Lu) 標識DOTATATEあるいはDOTATOCによる神経内分泌腫瘍（インスリノーマ、ガストリノーマ、カルチノイド）の治療（PRRT、peptide receptor radionuclide therapy）が広く実施されている。¹⁷⁷Luはβ放出核種である。これは神経内分泌腫瘍がソマ

表1 α 放出核種を応用したアイソトープ治療の臨床試験の主なもの

Radionuclide	Delivery vehicle	Type of cancer
211At	Antitenascin IgG	Glioblastoma multiforme
	MX35 F(ab') ₂	Ovarian carcinoma
213Bi	Anti-CD33 IgG	Myelogenous leukemia (acute or chronic)
	Antineurokinin receptor peptide	Glioblastoma
	Anti-CD20 IgG (rituximab)	Relapsed or refractory non-Hodgkin lymphoma
	9.2.27 IgG	Melanoma
223Ra	RaCl ₂	Skeletal breast and prostate cancer metastases
225Ac	Anti-CD33 IgG	Acute myelogenous leukemia

Sgouros et al. J Nucl Med 2010;51:311-328から改変

トスタチン受容体を発現していることから、ソマトスタチンアナログに核種を結合させた薬剤を用いるものである。医薬品としての承認は今後であるが、公的な保険償還がなされているとのことであり、有用な治療を患者さんに提供するため医療制度の枠組としても注目される。なお、イメージングに用いる医薬品として、¹¹¹In標識ソマトスタチンアナログであるオクトレオスキャン®が2015年9月に国内承認されたのはPRRTを国内で推進するうえで大きな朗報である。

さらに β 線放出核種に続いて、 α 線放出核種の応用が進められている。 α 線は生物学的効果が強く治療効果が期待できる(表1)。癌の多発骨転移に対して、骨転移巣を制御し生存の改善をもたらす治療薬として塩化²²³Ra(ラジウム-223)が登場し、欧米にて実施された去勢抵抗性前立腺癌(去勢抵抗性とはホルモン療法に不応という意味)(CRPC)の症候性骨転移症例を対象とした第III相臨床試験で良好な結果を得て、Xofigo®(ゾフィゴ)の商品

名で2013年5月15日に米国で、同11月15日ヨーロッパで承認され、現在は国内で臨床試験が実施され承認が待たれているところである。

著者プロフィール

1985年京都大学医学部卒。放射線核医学医。PETやRI内用療法など腫瘍核医学を専門とする。大学院博士課程でRI標識抗体、腫瘍免疫の研究に従事。93年ドイツ連邦共和国フンボルト財団奨学研究員(ボン大学)、94年フランス政府給費留学生(国立保健医学研究所)、1995年埼玉医科大学総合医療センター、2003年近畿大学医学部助教授、05年から同高度先端総合医療センターおよび放射線医学教室教授。01-11年放射線審議会基本部会委員。10-12年アイソトープ協会理事。11年から日本核医学会理事、PET核医学委員長。15年に医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME、事務局:放射線医学総合研究所)が取りまとめた関連団体共同の診断参考レベルの設定で主査を務めた。医学部学生の華道部の顧問となって毎週稽古に参加、14年に小原流いけばな教授者資格をいただいた。

Medical Dosimetry (医療における線量測定) に関するパネルディスカッション



11th International Workshop on Ionizing Radiation Monitoring

～第11回 放射線モニタリングに係る国際ワークショップ～ ステファン・マッキーバー*

医用線量計測パネル

2015年12月に株式会社千代田テクノル 大洗大貫台事業所のテクノルコンベンションセンター ホソダホールで開催された第11回放射線モニタリングに係る国際ワークショップにおいて、私は特別パネルディスカッションの司会を務めさせていただきました。本パネルディスカッションは、大阪大学名誉教授、千代田テクノル研究顧問であり、また本国際ワークショップの組織委員長である山本幸佳先生の構想によるものであり、招待されたパネリストは、ウォロンゴン大学のローゼンフェルド教授（オーストラリア）、ドイツがん研究センターのグライリッヒ博士（ドイツ）、ピーター・

マッカラムがん研究センターのクロン博士（オーストラリア）、広島大学の保田浩志教授、ベルギー原子力研究センターのバンハーバー博士（ベルギー）であった。



保田浩志教授（広島大学）（左）と筆者（右）

パネルディスカッションは、その直前に私と保田教授が司会を務めた医用ドシメトリのセッションにおける日本国外の各パネリストの特別講演の後に行われた。このセッションで、パネルディスカッションにおける詳細な議論のための舞台がみごとに準備された。

各パネリストには、(1)医療における線量測定において現在最も差し迫った問題は何か？ (2)今後この分野が直面するであろう長期的な「大課題」は何か？という2つの質問



パネルディスカッションの様子

* Stephen W.S. McKeever オクラホマ州立大学物理学部 上級教授

にお答えいただくようお願いした。それぞれの答えは考え抜かれ示唆に富むものであった。

短期的で急を要する研究ニーズ

最初の質問に対し、ローゼンフェルド教授は以下のことを提案された。



ローゼンフェルド教授
(ウォロンゴン大学)

- ・動く標的臓器に対する線量の決定。
- ・磁気共鳴下で安全に使用できる線量測定装置。それにはMRIと一体化された装置の中を追跡測定することの品質保証(QA)の実施および評価のための装置が含まれる。
- ・粒子線治療のための生体内飛程の確認。

強固で適応性のある再計画が急務であり、また「その日の実施計画」-すなわちエンド・ツー・エンド(E2E)(全行程)の高速テストの速やかで確実な検証が必要であると述べられている。

さらに、

- ・物理線量を「生物学的線量」に換算するためのQAツール。

ここで、生物学的線量 = 生物学的効果比 × 物理線量である。

ローゼンフェルド教授は、これらの問題に対して、新しく革新的な電子式線量測定装置を用いた最新のいくつかのアプローチを論じられた。新しい半導体マルチエレメントダイオードアレイを使用することにより、標的臓器の動き(例えば正常な呼吸中の動き)の追跡は線量配分に関連づけることができ、動く標的に配分された実際の線量を決定することができる。これは今後の研究の方向性と、放射線治療中に使用する新しい実用ツールの開発を約束するものである。MRIによる線量イメージングにとっての挑戦は、MRI一体型リニアックにおける線量配分中に検出器を見て追跡することである。「動態線量イメージング」のためにリアルタイムで検出器位置を追跡できるだろうか？

全行程の高速テストにとって課題は、線量配分と線量の精度を同時に決定することである。放射線場を乱さない空間分解能1mmの2次元配列が必要である。遡及的線量測定と同様にリアルタイムな測定が必要である。空間分解能1mmの3次元線量測定のための人体ファントムのさらなる開発もまた必要である。

粒子線治療が増加するにつれ、オンラインで、荷電粒子の飛程確認の必要性がますます切迫しつつある。粒子線治療がフォトン治療に優る点は、ビームが体内に入るときに健康な臓器に与えられる線量が低いことであり、特に飛程の終端で線量が急激に減少して、いわゆるブラッグピークに至る。しかしながら、±数ミリメートルの粒子線飛程の不確かさは、標的がん細胞に接しているであろう健康な臓器が照射されることを意味する。したがって、治療中の飛程を決定する方法が今重要である。この問題と関連するのが、「物理線量」と「生物学的線量」の違いである。粒子の飛程の終

端近くで粒子のエネルギーが減少するので、照射する粒子の生物学的効果比（RBE）が増加する。よって決定する必要があるのは、単に粒子の飛程ではなく、飛程終端の生物学的線量付与の実際のパターンである。生物学的線量は、実際に吸収された線量（すなわち「物理線量」）にRBEを乗じたものと定義される。確定的影響に関係するのは生物学的線量であり、確率的影響に関係するのは実効線量（物理線量×線質係数Q）である。したがって、体内の生物学的線量分布は極めて重要であり、これを決定できる線量測定システムが必要である。

クロン博士は、次のような医学物理の定義を我々に思い出させてくれた。

「ヒトの疾患の**予防、診断、治療**のための、物理原理、実務的な方法並びに技術、および研究を用いて医学物理士が追い求める応用物理の一分野…」

クロン博士の目下の挑戦は、上記の太字部分、すなわち**予防、診断、治療**という3つの言葉を中心としたものであった。



クロン博士
(ピーター・マッカラムがん研究センター)

予防においては、クロン博士は、放射線、特にマンモグラフィー、肺がんに対するコン

ピュータ断層撮影（CT）スクリーニングおよび全身CTを用いたスクリーニング処理の改善の必要性を強調した。診断においては、イメージング、特に一度に2つ以上のイメージング処理の最適化を用いたマルチモードイメージングの改善が必要である。

治療においては、クロン博士は低線量放射線治療の必要性を論じた。治癒率が改善されるにつれ、二次がんのリスクがより重要になり、さらに収集されたデータから放射線治療に使用される放射線防護ガイドラインを知らせることができる。さらにクロン博士は、治療中のイメージングの改善と、特に粒子線治療中の二次中性子に関する問題（ドシメトリを含む）のさらなる研究を呼びかけた。

グライリッヒ博士は、上記と同様の多くの問題に触れた。特にハイブリッドリニアックMR装置（あるいはイオン療法MR装置も）の出現が必要であると述べた。彼も、重要臓器と標的臓器の境界部分における高分解能の精細な線量測定と、従来の線量測定器（例えば空気で満たされた電離箱）のデザインや性能に対する最新の放射線治療プロトコルの影響の調査の必要性を強調した。



グライリッヒ博士
(ドイツがん研究センター)



バンハーバー博士
(ベルギー原子力研究センター)

バンハーバー博士は、放射線治療におけるリアルタイム線量測定および定量化の必要性を論じ、他の講演者同様、腫瘍線量と周辺線量の測定の必要性を強調し、放射線治療の標的部位の内部線量測定システムが必要だとした。また、放射線の生物学的効果の理解を高めることを求めたローゼンフェルド教授を支持し、粒子線治療に対してはトラック構造およびマイクロシメトリの高度な学問を求めた。

また、イメージングに対する個別化した線量測定の研究と、患者に合わせた診断と治療を構想し、放射線被ばくを最適化し、それらと調和した治療が必要であるとした。この努力の正当化は明白である。すなわち、リスク／ベネフィット評価および患者とのコミュニケーションを改善し、全ての患者に適用されている現在の一般化されたガイドラインよりもエビデンスに基づくガイドラインを使用することである。ガイドラインに関しては、バンハーバー博士は、欧州で、医学における電離放射線応用に関する様々な欧州医学学会 (CARPE-M) が、EURADOS (線量測定) およびMELODI (低線量) との共同で研究の必要性を明確にするために初めて協力作業を行っている状況を説明した。発表はされていないが、戦略的研究アジェンダを規定できるようになった。

バンハーバー博士はまた、新しく先進的な治療や診断技術が施行されるようになれば、放射線医療中の医療スタッフに対する線量測定の研究がさらに必要であることを付け加えた。特に、複合的な放射線場において医療スタッフが直面するであろうリアルタイム線量測定の必要性について述べた。

最後に、保田教授は、ホウ素中性子捕捉療法 (BNCT) の有効性を評価するために、腫瘍に与えられる微細なスケールの線量のその場検証が必要であることから、医療における線量測定が急務であることを強調した。

長期的「大課題」

ローゼンフェルド教授は、変形を含めた空間的、時間的な人体の変動を包括した非常に複雑な線量測定装置を考案するために、放射線線量測定のコミュニティに挑んだ。ヒトの組織の反応に擬態し、人体の変化する組織や色々な臓器に対してもそれができる線量測定装置は、イメージングの理想である。彼はまた「組織細部に与えられた線量を見ることができないか？」と問いかけ、放射線治療中にリアルタイムで線量付与を測定しイメージングできる能力も付け加えた。

クロン博士は、別のアプローチ、ただし放射線治療に直接的なプラス効果があると思われるアプローチを取った。すなわち、放射線の悪いイメージを払拭するために公衆を教育するという方法を我々に提示したのである。患者が放射線を怖がって放射線治療に同意したがない (そして医師も処方のためらう) ことがしばしばある。クロン博士は、放射線の悪いイメージ (そして無知) が今より低く

またはなくなれば、放射線治療を受ける患者の数が30%増えると予測している。

彼はまた放射線治療における線量応答を説明するわかりやすい例も必要であると訴えた。彼の意見によると、これは平凡なことに聞こえるが、線量は放射線治療を計画する際に考慮される唯一の要因であり、線量応答が明確であるほど決定しやすい。最後に、放射線と薬物の相互作用がより明確にわかり、放射線と薬物治療の併用を最適化できる「新しい放射線生物学」の必要性を訴えた。これには、腫瘍学を分子レベルでより細かく知る必要があると思われる。

グライリッヒ博士もまた、治療の複雑さが増すことに伴い、放射線治療を受ける患者の数を増やす必要があると述べた。しかし、問題の中心にあるのはやはり、合理的な時間内に確実な線量確認を行うことである。

バンハーバー博士は、放射線の効果を分子レベルで理解し、放射線の効果を細胞とDNAレベルで知るための研究を増やすことを求め、他のパネリストの意見を支持した。個々の放射線感受性、線量率依存性、分割依存性（それによって線量を一括ではなく分割して与える）を明白にする必要性を強調した。非がん影響、バイオマーカーの特定、「バイスタンダー効果*」を含めた他の放射線生物学的メカニズムの理解も全て必要である。

*電離放射線を直接照射された細胞だけでなく、その周囲の直接照射されていない細胞（バイスタンダー細胞）にも放射線を照射された影響がみられる現象。バイスタンダーは傍観者の意。

このような情報を背景として、バンハーバー博士は、放射線治療を全く行わないがん治療という彼の「夢」を提案した。そこでは放射

線を使用しない新しい分子療法と遺伝子療法が行われる。このような場合、医学物理士は、非電離放射線を用いたイメージングへとシフトするであろう。同時にバンハーバー博士は、将来、放射線場のコントロールがよくなり、粒子線治療が増え、二次線量が低くなり、患者個人にオーダーメイドされ、オンラインの治療プランニング、ミリシーベルト以下のCTスキャン、標的を定めたNMR、個人々の線量測定が使用されることを訴えた。

保田教授は、治療対象である腫瘍周辺の正常組織の副作用を推定する必要性を強調し、そのために放射線感受性の個々の違いを考慮する必要性を、他のパネリストに繰り返し強調した。

質問と回答

その後のオープンディスカッションでは、パネリスト、司会者、会場の参加者が、ナノ粒子放射線の増強、正常組織への照射による二次がんの危険性の増加（放射線治療を受けた患者の方が長く生きるという事実があるのに）、個々の放射線感受性、がんの遺伝子治療、薬物と放射線の相互作用、その他多くの問題について意見を述べた。非常に精力的で興味深い議論が互いに行われたのち、セッションは定刻に終了した。

著者プロフィール

1975年、ウェールズ大学（英国）より博士号取得。バーミンガム大学、サセックス大学（共に英国）博士研究員、オクラホマ州立大学（米国）助手、助教授、教授。現在、オクラホマ州・科学技術局長、オクラホマ州立大学物理学部上級教授。OSL（光刺激ルミネッセンス）線量計やTLD（熱ルミネッセンス線量計）の権威。

九州大学 アイソトープ総合安全管理センターの紹介 —新施設の建設、移転、センターの改組まで—



杉原 真司*

1. 新施設の建設

九州大学は、福岡市の箱崎地区・六本松地区・原町地区にある学部等の伊都地区への移転を順次進めている。箱崎地区にあるアイソトープ総合センター箱崎地区実験室及びアイソトープ総合センターセミハイレベル実験室（平成27年に廃止した）も移転の対象となり、平成26年10月に新施設が伊都地区に竣工し、アイソトープ総合センター伊都地区実験室として、平成27年1月から運用を開始した。併せて、アイソトープ総合センター伊都地区実験室は、同じ箱崎地区にある工学部放射性同位元素実験室を吸収することになり、工学部研究院には、今後の運営に協力頂くことになっている。一方、アイソトープ総合センター箱崎地区実験室は、農学研究院（平成30年度移転予定）の移転完了まで運営を継続する。

伊都地区実験室の施設面積については、移転の対象である既設のアイソトープ総合センター箱崎地区実験室（2,087㎡）、セミハイレベル実験室（207㎡）及び工学部放射性同位元素実験室（887㎡）の合算面積に、全学の核燃料物質を集中保管する施設を拡充するための施設面積の増加を求めたが認められず、3,436㎡となった（写真1）。合算面積より大きくなっているが、貯留槽等を地階に設置しているため、施設面積に含まれている。

アイソトープ総合センター伊都地区実験室



写真1 施設外観

の特徴は以下の通りである。

- ①アイソトープ総合センターに工学部施設が吸収された。伊都地区では唯一の非密封RI取扱施設となる。しかし、利用者の研究室からの距離が遠いため利便は悪い。なお、加速器、照射装置（密封RI）は、伊都地区の加速器・ビーム応用科学センターに設置されている。
- ②工学部が所有していた核燃料物質使用施設も同時に吸収している。管理体制を2重化し、管理区域、排気、排水系を完全に分離。
- ③全学の国際規制物資等の安全管理を実施する部門を新規設置。
- ④入退室は、ガラスバッジの2次元バーコードと静脈認証システムを併用。貯蔵室への入退についても静脈認証システムを利用する。

* Shinji SUGIHARA 九州大学アイソトープ総合安全管理センター放射線監視情報部 部長

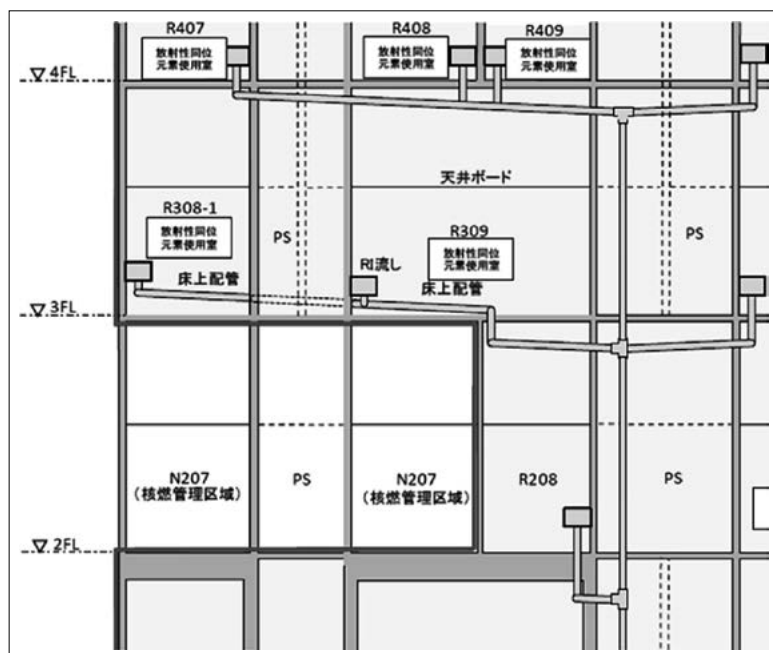


図1 施設断面



写真2 床上配管

- ⑤各階の利用者の動線を考慮した実験室配置と空調機器の統合化。
- ⑥学生実習室を管理区域外に設置（管理区域外使用を想定）。
- ⑦モニタリングポストを設置して、測定値はHPで公表。

詳細については、<http://qrad.kyushu-u.ac.jp/>を参照。

RI管理区域と核燃料物質管理区域が接するところでは、給排水管、空調機器の切り分けが必要であり、両区域が重ならないような工夫をしている。例えば上下階で接する場合は、床を境界とするため、通常床下（下階の天井裏）配管とする所を床上配管とし、メンテナンスも含めて他の管理区域には及ばない仕組みにし

ている（図1、写真2）。

管理区域への入退室は、ガラスバッジ（またはポケット線量計）の2次元バーコードを利用することにより、個人線量計の所持を確認し、かつ個人コードと併用して、個人の照合を行っている。各階の貯蔵室には、掌の静脈認証による個人照合とカメラによる監視を行っている。

学生実習室を管理区域外に設置して、新規教育における実習、理・工・農学部の学生実習、一般公開の際の展示等に使用する予定で

あったが、区域外使用は許可されていない。今後利用の形態、管理方法等を検討し、安全に管理区域外使用ができる体制を整備し、許可をもらう必要がある。

移転に伴って、RI関連施設周辺の放射線量に変化がないことを示すために、伊都地区と箱崎地区にそれぞれモニタリングポストを設置し、ホームページで測定値を公開している。

2. 移転と廃止措置

平成26年10月に建物が竣工し、ドラフト、実験台等の附帯設備を設置した後に、引越し作業が行われた。12月に第一陣として、センター所有の物品のみの移転を行った。ついで、平成27年3月に工学部放射性同位元素実験室、理学研究院の前倒し分の移転を行った。理学、農学の箱崎地区に残る物品については、それぞれの学部の経費で移転してもらうことになった。農学部の移転完了は平成30年度と予定されている。箱崎地区実験室は、利用者がいなくなれば廃止することになる。箱崎キャンパスの跡地利用との兼ね合いにより、廃止



写真3 核燃料物質保管庫

は先に延ばせない状況であるので、施設の縮小を行いながら、廃止措置を滞りなく行う必要がある。

箱崎地区には、核燃料物質取扱施設として、工学部とアイソトープ総合センター箱崎地区実験室があるが、移転に伴い廃止することになる。核燃料物質で汚染した廃棄物は、各事業所で保管することとなる。廃棄物の物量がどの程度になるかわからないが、現在の伊都地区実験室の核燃料物質保管庫には、入らないと予測されたので、伊都地区実験室の北側の駐車場に保管庫を増築し平成27年12月に4階建ての建物が完成した(写真3)。今後、核燃料安全管理部が主体となって、新施設の申請作業、運営及び旧施設の廃止措置を行うこととなる。

3. アイソトープ総合安全管理センターへの改組

九州大学には、放射性物質やX線発生装置等を使用する22の事業所があり、また、核燃料物質を使用できる施設が2つ、国際規制物資の使用を届け出ている部局が9つある。放射性物質、X線発生装置、核燃料物質、国際規制物資等の利用は、大学での学術研究の発展、さらには、社会における放射線利用の推

進にも貢献していると言える。一方で、法律を順守した管理の実施と安全な利用の徹底が大学や社会には求められている。大学で行う先端的研究・教育における放射性物質等の利用形態は様々であることから、より質の高い管理と安全な利用を進めるためには、学内の放射線安全管理体制の強化と教職員・学生には安全利用へのより一層の意識向上が求められている。

アイソトープ総合センターは九州大学の放射線安全管理において中心的役割を担う組織になるため、平成27年4月から九州大学アイソトープ統合安全管理センターに改組し、放射性物質と核燃料物質の安全管理体制の強化と安全利用のさらなる推進を目指している。改組されたアイソトープ統合安全管理センターについて以下に簡単に紹介する。

1) 新しい組織の概要

アイソトープ統合安全管理センターは、従来のアイソトープ総合センターの3部門に3部門が加わり合計6部門となった。

- (1) 放射線安全管理部
- (2) 核燃料安全管理部 (新設)
- (3) 放射線教育部 (新設)
- (4) 放射線科学部
- (5) 放射線監視情報部
- (6) 放射線健康影響管理部 (新設)

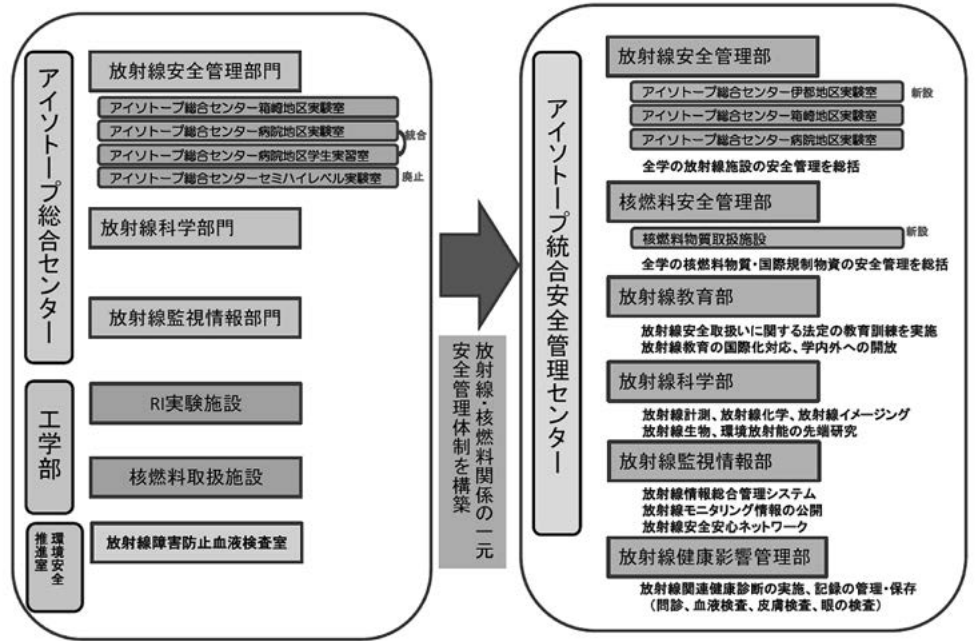
2) 共同利用のための実験室の提供

アイソトープ統合安全管理センターは箱崎、病院、伊都キャンパスに研究・教育のためのRI実験室を共同利用施設として提供する。学内共同利用施設として核燃料物質を使用できる核燃料物質取扱施設を平成28年中に開設の予定である。この施設は核燃料物質を利用できる学内唯一の施設となる。アイソトープ統合安全管理センターの教員は、放射線取扱主任者としてこれらの施設の安全な管理運営を進めるとともに利用者サービスを行う。

3) ウラン・トリウムの国際規制物資の集中管理による安全確保

学内には今後の使用予定がないウラン・ト

アイソトープ総合センターの組織改編



リウム等の国際規制物資とそれらの廃棄物が多数あり、在庫管理を行う必要があるが、学内で統一した管理体制になっていない。九州大学では、各学部が所有している今後の使用予定のないウラン・トリウムについては、学部からの依頼に基づきアイソトープ統合安全管理センターが管理する核燃料取扱施設において集中管理することで安全を確保する。

4) 学内の放射線安全管理体制の強化への連携

九州大学の放射線安全管理体制は、「放射線等障害防止委員会」、「放射線障害防止専門部会」及び「核燃料物質管理専門部会」が中心となる。アイソトープ統合安全管理センター長は、放射線等障害防止委員会の委員長となり、同時にアイソトープ統合安全管理センターの教員が各専門部会の委員となることにより、九州大学の放射線安全管理の中核となる。

5) 放射線教育体制の充実

九州大学の国際化の進展に伴い放射性同位元素やX線を研究に利用する外国人留学生の

数は今後増加することが予測される。新設の放射線教育部は、日本語と英語の放射線教育資料の開発と各種放射線講習会を開催し知識の普及と放射線業務従事者に登録するための資格を提供する。

以上、雑文ながら、アイソトープ統合安全管理センターの紹介を行いました。九州大学アイソトープ統合安全管理センターは、移転・過渡期の分散した放射線施設の管理及び大学全体の放射線安全管理という重責もありますが、少ない人数ながら、少しずつ進歩していきますので、よろしくお願いします。

著者プロフィール

1981年、九州大学理学部化学科を卒業後、九州大学アイソトープ総合センター箱崎地区実験室に就職し、九州大学以外出ることなく放射線安全管理歴35年。環境放射能の研究を継続しながら、2013年から九州大学アイソトープ総合センター准教授。現在は、アイソトープ統合安全管理センター放射線監視情報部部長。

ガンマ・キャッチャーの開発と実用化について

原子力事業本部

ガンマ・キャッチャーは、コンプトン散乱を利用したハンディ型ガンマ線可視化装置であり、浜松ホトニクス(株)が早稲田大学と共同して開発し、弊社より販売しています。

本装置の開発と実用化に関して、平成27年12月8日福島県郡山市で開催された「JST成果発表会・展示会」および平成27年5月30日・31日福島県福島市で開催された「第4回京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究シンポジウム」で発表・報告しましたので、紹介いたします。

高感度かつ携帯可能な革新的ガンマ線可視化装置の開発

放射性物質の分布を10分程度で画像化

除染作業の効率化に役立てるため、放射性物質の集積(ホットスポット)を迅速に画像化できる装置を開発。小型・軽量のポータブル型で、除染現場への搬入・設置が容易に行えます。

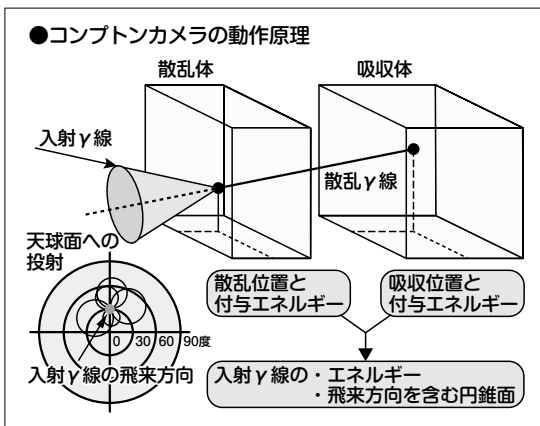
「JST成果発表会・展示会」(平成27年12月8日、福島県郡山市)
大須賀慎二(浜松ホトニクス(株)中央研究所)／片岡 淳(早稲田大学理工学院総合研究所)

1. 高感度かつ携帯型の装置を目指して

被災地域における除染作業を効率的に行うためには、放射性物質の分布を画像化して集積箇所(ホットスポット)を探索し、除染前後の画像化により除染の効果を確認することが有効です。そのためガンマ線カメラは、除染現場への搬入・設置が容易であり、迅速に画像を提示できる高感度性が求められます。そこで、本開発課題では、携行可能な大きさと重量、そして、毎時数マイクロシーベルトの環境において10分程度で放射性物質の分布を可視化できる装置(コンプトンカメラ)を目指しました。

2. 高性能光検出器を使って小型・軽量化を実現

今回開発した高感度・携帯型コンプトンカメラは、ガンマ線飛来方向を識別し、放射性物質の分布を画像として提示する装置です。携行性にも優れ、除染現場への持ち込みと設置が容易に行えます。コンプトンカメラに使用されている2個のガンマ線検出器(散乱体検出器と吸収体検出器)は、シンチレータ・アレイと高性能な半導体光検出器(MPPC)を組み合わせ、カメラ本体の小型・軽量化と高感度化を実現しました(実用化コンプトンカメラ)。また、独自の三次元シンチレータ・アレイを用いた検出器



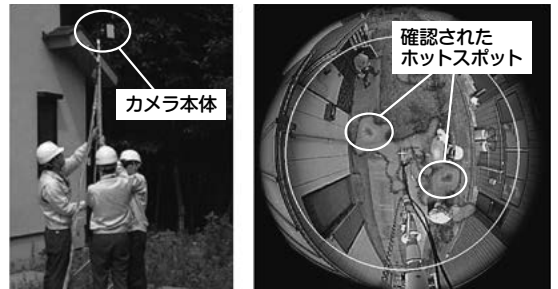
実用化コンプトンカメラ

構造を採用することで、放射性物質の分布画像の解像度改善を実現しています（試作高分解能コンプトンカメラ）。

諸元	実用化 コンプトンカメラ	試作高分解能 コンプトンカメラ
大きさ (L×W×H)	15cm×13.5cm×15cm	15cm×16cm×15cm
カメラ本体重量	1.9kg	2.5kg
エネルギー 分解能 @662keV	9% (半値全幅)	9% (半値全幅)
角度分解能 @662keV	14度 (半値全幅)	8度 (半値全幅)
感度	カメラ位置で毎時5マイクロシーベルトの空間線量率を与えるセシウム137点線源を20秒～30秒で識別可能	カメラ位置で毎時5マイクロシーベルトの空間線量率を与えるセシウム137点線源を10秒で識別可能

3. フィールドテストを重ねて販売へ

実用化したコンプトンカメラは、株式会社千代田テクノルで多くのフィールドテストを行い、性能を確認した上で“ガンマ・キャッチャー”という商品名で販売しています。すでに福島県内の除染作業の効果を確認する業務にも使用されています。三次元シンチレータ・アレイを用いた高分解能タイプは、医療分野への展開も期待されています。



高所からの測定 (福島県内)

除染等作業における汚染状況確認のための小型軽量コンプトンカメラ (ガンマ・キャッチャー) の実用化について (事例紹介)

Practical and case studies of small and lightweight Compton camera for checking contamination in the working site of decontamination

「第4回京都大学原子炉実験所原子力安全基盤科学研究シンポジウム」(平成27年5月31日、福島県福島市)
中川亮太・亀田周二・小澤慎吾 (株)千代田テクノル

1. 背景・目的

福島第一原子力発電所の事故により、大量の放射性物質が環境中に放出されてから、すでに4年以上が経過している。しかし、福島県内の周辺地域においては、放射性物質の除染が今なお重要な課題となっている。福島県内での除染作業を行うにあたって、全体的な汚染状況の把握は勿論であるが、実際に除染を行うエリアの汚染状況を簡便・短時間に確認することができれば、より効率的に作業を行うことができると考えた。そこで、エリアの表面線量率や表面汚染密度の測定に代えて、より早く簡便に汚染状況を可視化することで、ホットスポットの位置を確認し、効率的な除染作業の実施に資することを目的として、浜松ホトニクスでは、汚染状況を確認するための高感度かつ小型軽量のコンプトンカメラ（以下、本装置という。）を開発

した。千代田テクノルでは、浜松ホトニクスと共同で本装置を用いて、福島県内各所の除染実施場所における実測試験を行い良好な成果を得たので、実用化に向けて事例紹介する。

2. 測定原理

本装置は、コンプトン方式を採用した放射線可視化装置である。ピンホール方式のガンマ線カメラと比較すると、遮蔽体や冷却機構が不要であるため、非常に軽量であり携行が容易であるという特徴がある (Fig. 1)。散乱体と吸収体となる検出器を2層に設置することで、ガンマ線が散乱体でコンプトン散乱され吸収体で光電吸収される事象を検出し、ガンマ線が散乱・吸収される位置情報と、各検出器に付与されるエネルギーを使って計算されるコンプトン散乱角から、ガンマ線の飛来方向を求めている

(Fig. 2)。コンプトンカメラには高感度かつ低ノイズのMPPC (Multi-Pixel Photon Counter) が採用されている。MPPCと高性能のシンチレータと組み合わせることで約10%のエネルギー分解能を実現し、¹³⁴Cs由来の605keVおよび796keV、¹³⁷Cs由来の662keVガンマ線の3種類の識別が可能である (Fig. 3)。

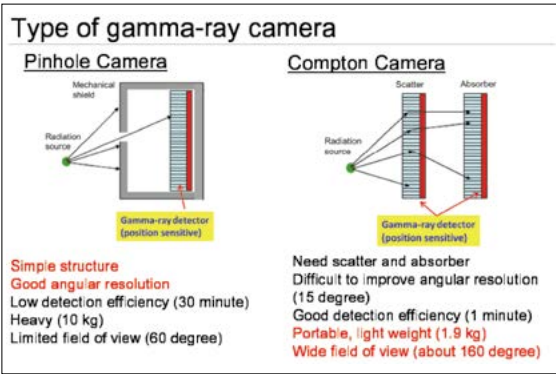


Fig. 1 可視化装置の比較

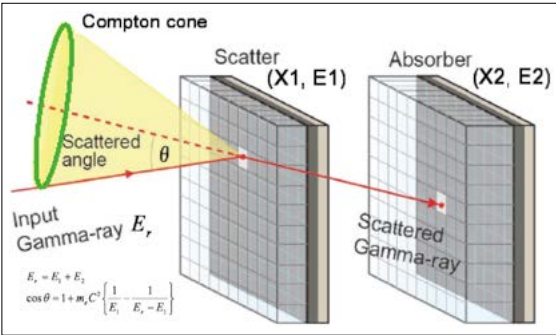


Fig. 2 コンプトンカメラの原理

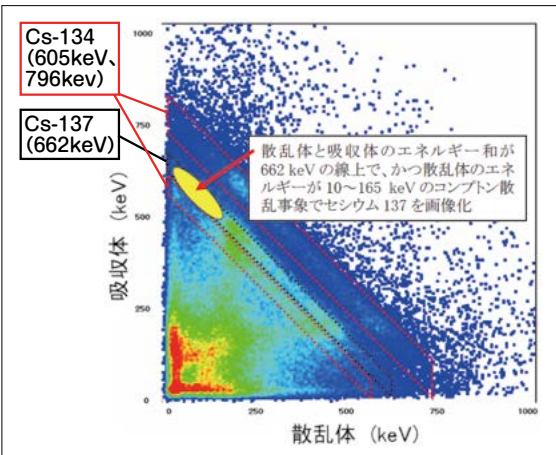


Fig. 3 コンプトンカメラの検出技術

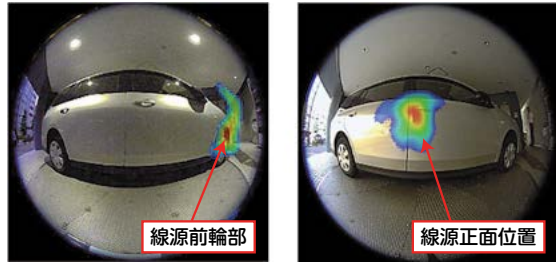
3. 測定事例

●事例紹介1：線源を用いた社内試験

車両にセシウム線源を取り付け、放射線源の位置が特定可能か試験した。社内試験の結果、1 MBqの放射性セシウム線源は、おおよそ10分以内で特定可能である。

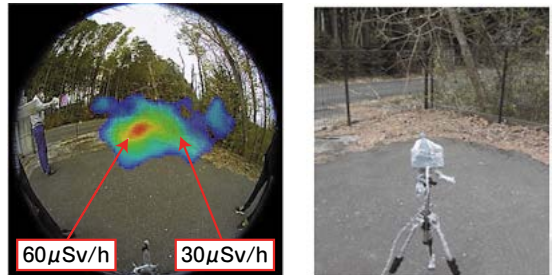


測定時間：600sec 線源：¹³⁷Cs 1MBq 距離：約1m



●事例紹介2：フィールドにおけるホットスポットの探索

福島県内でのフィールド試験の結果、短時間でホットスポットの探索作業が可能である。



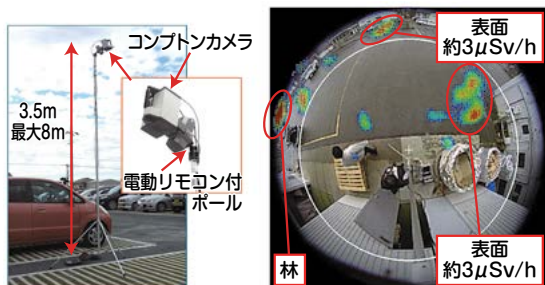
測定時間：170sec 距離：約5m カメラ設置場所線量：18 μSv/h

●事例紹介3：垂直方法からの測定の有効性確認

福島県内の避難指示解除準備区域を対象として、高所からの見下ろし測定試験を実施した。

放射線可視化装置は測定原理から装置に近い位置にある放射能の影響をより受けやすい。そこで、高所からの見下ろし測定を行った。集水枡と側溝の表面線量は約3 μSv/hであり、

2地点が同程度の描写を示していることから、高所からの見下ろし測定は、距離による影響が少なく、ホットスポットの探査に有効である。



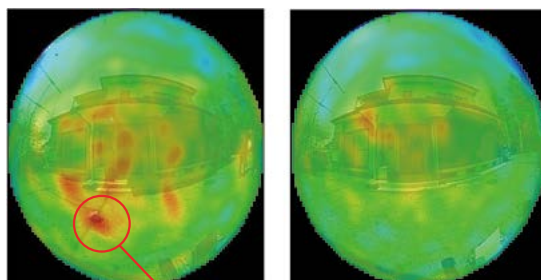
そこで、マニュアルスケールによる測定を行ったところ、汚染土壌の有無により明確な差があることが確認できた。このことから、福島県内の除染現場における作業前後の比較試験にも有効であることが確認できた。

オートスケール：

最もカウント数が多い箇所を自動的に赤く表示する機能

マニュアルスケール：

画面内で赤色を表すカウント数を指定する機能



汚染土壌 表面：約1~1.5μSv/h

●事例紹介4：マニュアルスケール表示機能による除染前後の比較試験

福島県内の住宅を対象として、汚染土壌の有無による描写の比較試験を実施した。

オートスケールによる測定では、放射線の飛来してくる数が相対的に多い場所を赤色に描写するため、汚染土壌を取り除いた影響が分かりにくい。

2016年 製薬放射線研修会

(第18回製薬放射線コンファレンス総会)

日 時	平成28年 6月24日(金) 10：30～17：15 (受付開始：10：00)
会 場	【総会・研修会】コクヨホール(2F 多目的ホール)(東京都港区港南1-8-35) 【交流会】TULIPANO(トゥリパーノ)(コクヨホールの東隣、品川Wビル2F)
主 催	製薬放射線コンファレンス
総 会	PRC活動報告等
研 修 会	ランチョンセミナー「RI利用促進とRI施設の効率的運用」 特別講演「放射線障害防止法関係の最近の動向(仮題)」原子力規制庁担当者 招待講演「ゲノム解析に基づく患者に優しいオーダーメイド投薬の確立」 菟田泰誠氏(国立研究開発法人理化学研究所) シンポジウム「RI施設の廃止・縮小を考える」
交 流 会	17：30～19：30
【参加費】	事前登録：5,000円、当日受付：6,000円 [交流会] 5,000円
【事前申込締切】	6月10日(金)
【参加申込】	以下のウェブサイト内の研修会参加申込フォームからお申込下さい。 製薬放射線コンファレンスホームページ http://www.web-prc.com/
【お問い合わせ先】	2016年製薬放射線研修会実行委員会事務局 E-mail：administration_2016@web-prc.com

JST成果発表・展示会「復興から新しい東北の創生へ －科学技術の英知・絆の成果－ in 福島」に出展しました

大洗研究所 研究開発課 杉山 誠

1. JST成果発表・展示会の概要

2015年12月8日に福島県郡山市・ビッグパレットふくしまにて、JST成果発表・展示会「復興から新しい東北の創生へ－科学技術の英知・絆の成果－in 福島」が開催されました。

国立研究開発法人科学技術振興機構（JSTと略します。）は、東日本大震災からの復興を大きなテーマとして、放射線計測機器の開発支援および製品開発支援を通じて福島県内企業の復興促進を掲げています。その成果の展示および成果発表が行われました。

会場は、放射線計測機器開発、復興促進プログラムの2つの部門に分けられ、それぞれ28件の展示が行われました。ほかにも、大学・研究機関等から12件展示がありました。また、発表ステージにて2つの部門から各6件の成果がプレゼンテーションされました。復興促進プログラムでは、放射線という分野にとらわれず農業や織物にかかわる成果が展示され、当日は約500名の方々が来場されました。



会場のビッグパレットふくしま

2. 弊社の展示

弊社もJSTのご支援を受けて製品開発を行っており、以下の3件の展示を行いました。

- ①高エネルギー分解能・高スループット放射能測定検査装置
- ②RPLガラスビーズを用いたシート型ガラス線量計
- ③住民用積算線量計（D-シャトル）

①は東北大学・株式会社C&Aと共同で実施しているプロジェクトです。シンチレータの中で非常に優れたエネルギー分解能・感度を有するEu:SrI₂（ユーロピウム添加ヨウ化ストロンチウム）シンチレータを大型化・高品質化し、検出器として搭載した放射能測定検査装置の開発を行っています。

②は大阪大学・金沢工業大学・EMFジャパン株式会社の3機関の協力を得て実施しました。弊社のガラスバッジにも用いられている銀活性リン酸塩ガラスを応用・進化させ、高線量率環境に対応したビーズ型およびシート型のガラス線量計、さらにそれらに対応した読取装置を開発しました。

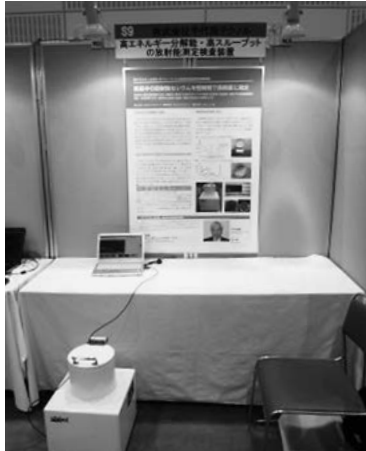
③は産業技術総合研究所と連携して、製品開発を行いました。すでに、「D-シャトル」として弊社で商品化しております。軽量・小型かつ長時間計測可能な半導体式線量計、線量表示器、線量管理システム及び校正システムを開発し、モニタリングサービスを提供させていただいております。

来場された方々には、商品化されているD-

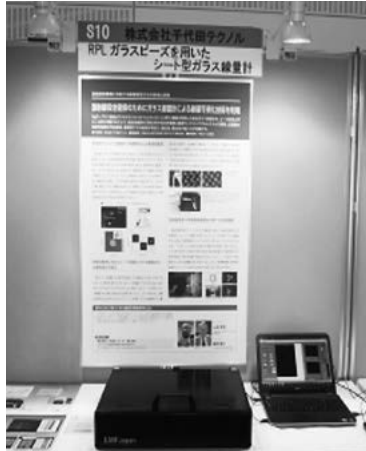
シャトルについてとりわけ興味を持っていただき、様々なご質問をいただきました。この場を借りて、弊社の展示ブースにお越しください

た皆様にお礼申し上げます。さらには、開発にご支援をいただいているJSTには心より感謝申し上げます。

弊社展示ブース



①高エネルギー分解能・高スループット放射能測定検査装置



②RPLガラスビーズを用いたシート型ガラス線量計



③住民用積算線量計 (D-シャトル)

放射線取扱主任者試験受験のための

第59回放射線安全技術講習会開催のお知らせ

1. 期 日 第一種コース 平成28年6月6日(月)～6月11日(土)の6日間
第二種コース 平成28年6月20日(月)～6月24日(金)の5日間
2. 会 場 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル4階 公益社団法人日本保安用品協会
3. 参加対象者 第一種又は第二種放射線取扱主任者の国家試験受験を予定している方
4. 定員及び受講料

定 員	受講料 (消費税込み)
第一種コース 50名	63,860円
第二種コース 50名	51,500円
5. 申込締め切り 各コースともに定員になり次第締め切りとさせていただきます。尚、第一種コースは平成28年5月27日、第二種コースは平成28年6月10日まで受け付けます。
6. 講習会主催者及び申込先 公益社団法人日本保安用品協会 放射線安全技術講習会事務局
〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-15 和光湯島ビル5階
TEL 03-5804-3125 FAX 03-5804-3126 担当 福田/小林
e-mail : hoan@jsaa.or.jp URL : http://www.jsaa.or.jp
7. 申込用紙の入手方法 申込書は主催者ホームページよりダウンロード若しくは、メール、電話等による請求にて入手可能です。
8. 申込方法 郵送またはFAXにてお申し込みを受け付けます。メール、電話等による申し込みの受付はいたしません。
9. その他 お支払を確認後、「受講券」をお送りします。なお、受講料のお支払いは原則として銀行振込でお願いいたします。

サービス部門からのお知らせ

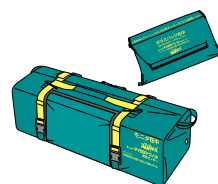
GBキャリアを集荷依頼したら・・・

平素より弊社のガラスバッジモニタリングサービスをご利用
くださりまして誠にありがとうございます。

GBキャリアでガラスバッジをお届けしているお客様には、
ガラスバッジご返送の際にガラスバッジ集荷専用フリーダイヤ
ル(0120-229080)へ集荷依頼をお願いしております。

集荷時に日本郵便(株)の集荷担当者より「**後納郵便物等取扱票(お客様用)**」を渡される
場合がございますが、これは、お客様に請求等を行うものではなく、お客様用の**荷物引
き取りの控え**となっております。

ガラスバッジ発送の際にお送りしている「**返送用伝票**」は、**弊社着払い**となっており
ますので、返送料金はお客様へ請求されることはございません。



編集後記

●ゴールデンウィーク真っ只中でございます。5月2
日(月)と6日(金)にお休みを取れば、なんと夢の
10連休!みなさまにとって良いリフレッシュ期間とな
りますようお願いしております。一方で、ゴールデンウィ
ークなんて関係なく仕事だ!と嘆いておられる方もい
らっしゃるでしょうか。。。

●さて、今月号の巻頭は、「アイソトープ治療の現状
と展望」と題しまして近畿大学高度先端総合医療セ
ンターの細野 眞先生にご執筆いただきました。放出
核種別に詳しくご紹介されています。国内におけるア
イソトープ治療は実施件数がここ10年で約2倍に増
加しており、今後さらなる発展が期待されます。

●九州大学アイソトープ統合安全管理センターにつ
いて、杉原真司様にご紹介いただきました。新設さ
れたアイソトープ総合センターの特徴、組織の概要
が詳細にまとめられています。放射性物質、核燃料
物質、国際規制物質等を利用できる施設として、安

全管理体制の強化と安全利用の推進が強く読み取れ
ます。

●また、昨年12月に弊社大洗大貫台事業所で開催さ
れた「第11回放射線モニタリングに係る国際ワー
クショップ」の中で行われたMedical Dosimetry(医療
における線量測定)に関するパネルディスカッション
について、コーディネーターを務められたオクラホマ
州立大学のマッキーバー教授に概要をまとめたいた
だきました。

●編集後記を書きながら、頭の半分ではゴールデン
ウィークの予定をあれこれと考えています。今年は
北海道新幹線の開業を受け、東北・北海道エリアが
盛り上がるのでしょうか。日本人は長期休暇に慣れ
ておらず、過ごし方が下手と聞きます。そんなのもっ
たない!絶対にうまく使いきってやろう、と意気
込んでおります。

(W.S)

FBNews No.473

発行日/平成28年5月1日

発行人/山口和彦

編集委員/畑崎成昭 根岸公一郎 中村尚司 金子正人 加藤和明 青山伸 五十嵐仁
加藤毅彦 兼尾昌二 木名瀬一美 篠崎和佳子 高橋英典 谷口和史 長谷川香織

発行所/株式会社千代田テクノル 線量計測事業本部

所在地/☎113-8681 東京都文京区湯島1-7-12 千代田御茶の水ビル4階

電話/03-3816-5210 FAX/03-5803-4890

<http://www.c-technol.co.jp/>

印刷/株式会社テクノサポートシステム

—禁無断転載— 定価400円(本体371円)