



Photo Kiranori Kirano

Index

原子力機構FRS標準場の現状とJIS登録試験所について …吉富 寛	1
〔施設訪問記⑨〕	
ー PDRファーマ株式会社 川崎PETラボの巻 ー ……………	6
〔コラム〕 53th Column	
【子宮頸がんⅡ期の治療法】……………中川 恵一	11
東京電力㈱福島第一原子力発電所	
「ALPS処理水放水トンネル」「海洋生物飼育場」 ……………	12
〔放射能・放射線単位の由来〕	
第2回 キュリーcurie : Ci ……………高橋 正	17
【お知らせ】	
眼の水晶体の等価線量に対する ケア線量連絡リストの送付を開始します……………	18
〔サービス部門からのお願い〕	
ガラスバッジWebサービスをご利用ください ……………	19

原子力機構FRS標準場の現状と JIS登録試験所について



吉富 寛*

1. はじめに

放射線測定信頼性の確保は、外部放射線による線量管理を適切に実施する上で重要である。国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という。）原子力科学研究所に設置されている放射線標準施設棟（以下「FRS」という。）は、放射線測定器の校正・試験や関連する放射線計測技術の開発を目的として1980年に設置された。2000年には単色中性子標準場等を整備するために加速器を導入するなど40年以上にわたって校正場を開発・維持するとともに、年間30,000台に至る放射線測定器の校正や試験を実施してきた。2022年6月には、FRSを利用して国内初となる産業標準化法に基づく試験事業者登録制度（JNLA）に基づく放射線測定器の登録試験所（以下「JIS登録試験所」という。）が誕生し、試験サービスを開始した。

本稿では、FRSの標準場の現状とJIS登録試験所の詳細について紹介する。

2. FRSの標準場の現状

FRSは、さまざまな放射性同位元素、X線発生装置や加速器を利用して、X線・ γ 線、 β 線、及び中性子について、幅広いエネルギーにわたって校正・試験が可能な放射線防護分野では世界でも最大規模の校正施設である（図1）。以下に各標準場の現状について簡単に紹介する。

(1) X線・ γ 線標準場

X線標準場としては、中硬X線発生装置（最大管電圧300kV、最大管電流30mA）を用いてJIS Z 4511¹⁾に示されるQIシリーズ及びNシリーズの線質の標準場を整備^{2,3)}し、実効エネルギー

で20keV～260keVの領域での放射線測定器の校正・試験に用いられている。

γ 線標準場は、コリメータ付きの照射装置3台により¹³⁷Csや⁶⁰Coによる放射線測定器の校正・試験が実施できるほか、個人線量計などについて、多数を一度に校正できる2 π 照射装置も利用可能である。また、4 π γ 線源を用いたより低い線量率や²⁴¹Amなど¹³⁷Csや⁶⁰Co以外の核種での校正・試験も可能である。近年開発されたものとしては、4 π γ 線源にコリメータを取り付けることにより散乱線の影響を低減させた0.5 μ Sv/h～1 μ Sv/h領域の低線量率標準場⁴⁾や¹³³Ba線源を利用し、原子力発電所の事故時などのモニタリングにおいて重要な¹³¹Iから放出される γ 線のエネルギーである350keV付近の光子を対象とする標準場⁵⁾などがある。さらに、4MVペレットロン加速器を用いて¹⁹F(p, α)¹⁶O反応における¹⁶Oの脱励起で生成される平均エネルギー6.2MeVの高エネルギー γ 線標準場も利用可能である⁶⁾。これは、主に原子炉施設における¹⁶Nに起因する6MeV付近の高エネルギー

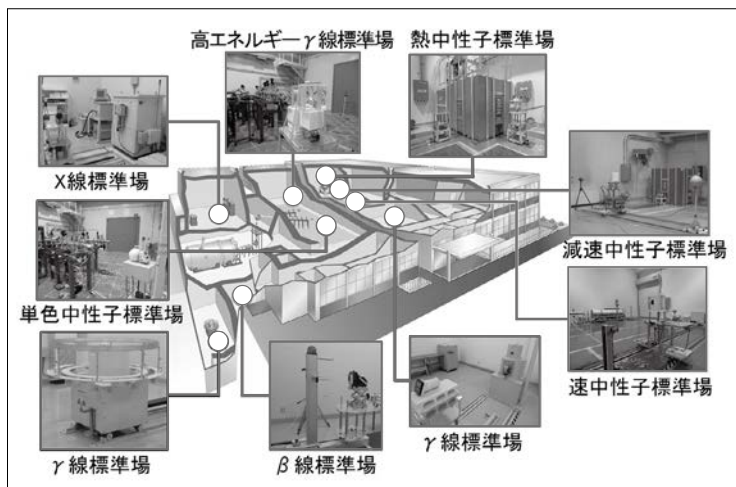


図1 FRSの施設設備と各標準場

* Hiroshi YOSHITOMI 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 原子力科学研究部門 原子力科学研究所 放射線管理部

光子等の測定に利用される放射線測定器の試験に用いられている。

表1及び表2にこれらの光子標準場の線質及び線量率をまとめた。

(2) β線標準場

β線校正場については、ドイツ物理工学研究所(PTB)で開発されたBSS2 (Beta Secondary Standard 2) を用いた⁹⁰Sr/⁹⁰Y、⁸⁵Kr及び¹⁴⁷Pm線源を利用したJIS Z 4514⁷⁾に定めるシリーズAの標準場が利用できる。また、⁹⁰Sr/⁹⁰Y、²⁰⁴Tl及び¹⁴⁷Pm線源を用いた原子力機構独自のシリーズBの標準場もあり、線量率など利用者の要望に応じてこちらも利用できる⁸⁾。

表3にこれらのβ線標準場の線質及び線量率をまとめた。

(3) 中性子標準場

RI中性子線源を用いた場としては、散乱低減を目的としたグレーチング床構造の照射室中央に²⁵²Cfや²⁴¹Am-Be線源を設置した速中性子標準場、黒鉛パイル中央に²⁵²Cf線源を装荷しパイル外に漏洩する熱中性子を利用して校正・試験を行う熱中性子標準場、重水で²⁵²Cf線源からの

中性子を減速して実際の作業場に近いスペクトルの中性子で校正・試験を行う重水減速中性子標準場、熱中性子遮蔽シートを設置した黒鉛パイル中に2つの²⁴¹Am-Be線源を配置し、フルエンス平均エネルギーが0.84MeVまたは0.60MeVの黒鉛減速中性子校正場⁹⁾が利用できる。しかし、本稿執筆時点では²⁵²Cf線源の減衰に伴い、照射可能な線量率が熱中性子標準場では1μSv/h程度、重水減速中性子標準場では0.7μSv/h程度と低く、個人線量計の校正・試験等が困難となっており、課題となっている。

4MVペレット加速器を用いて、表5に示す8keVから19MeVまでの10点の単色中性子校正場を整備¹⁰⁻¹²⁾している(2.5MeVと19MeVについては、2022年12月現在は加速器の不調により供給を停止している)。一般に、中性子については、エネルギーによって放射線測定器の応答が大きく変化するため、これらの単色中性子を使った試験は性能を評価するためには重要となる。

表4及び表5にこれらの中性子標準場の線質及び線量率をまとめた。

表1 FRSの主なγ線標準場

照射装置	照射室	核種(核反応)及びエネルギー	線量当量率(H*(10))範囲*1
極低レベル照射装置	第2照射室	¹³⁷ Cs (662keV)	4μSv/h~17mSv/h
低レベル照射装置	第1照射室	¹³⁷ Cs (662keV)*2	7μSv/h~40mSv/h
		⁶⁰ Co (1250keV)*2	10μSv/h~180μSv/h
中レベル照射装置	第3照射室	⁶⁰ Co (1250keV)*2	20μSv/h~0.5Sv/h
2π照射装置	2π照射室	¹³⁷ Cs (662keV)	2mSv/h~4mSv/h
		⁶⁰ Co (1250keV)	8μSv/h~0.7mSv/h
単体γ線源 (4π線源)	第1~4照射室	²⁴¹ Am (60keV)	8μSv/h~470μSv/h
		¹³³ Ba (333keV)	0.7μSv/h~1.2μSv/h
		¹³⁷ Cs (662keV)*2	0.5μSv/h~350μSv/h
		⁶⁰ Co (1250keV)*2	0.5μSv/h~10μSv/h
加速器	単色中性子照射室	¹⁹ F(p,αγ) ¹⁶ O (6.2MeV)	20μSv/h~2mSv/h

*1 令和4年12月1日現在、*2 JIS登録試験所の対象範囲

表2 FRSの主なX線標準場

照射装置	照射室	実効エネルギー範囲	線量当量率(H*(10))範囲
中硬X線発生装置	X線照射室	20~260keV*1	4μSv/h~2Sv/h

*1 JIS登録試験所の対象範囲

表3 FRSの主なβ線標準場

照射装置	照射室	核種及び残留最大エネルギー	線量当量率(H'(0.07))範囲*1
BSS2	β線照射室	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (2.0MeV)*2	27mSv/h
		⁸⁵ Kr (0.60MeV)*2	45mSv/h
		¹⁴⁷ Pm (0.18MeV)*2	0.2mSv/h
JAEA β線照射装置	β線照射室	⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (2.0~2.2MeV)	5mSv/h~150mSv/h
		²⁰⁴ Tl (0.60MeV)	7μSv/h~60μSv/h
		¹⁴⁷ Pm (0.14~0.18MeV)	10μSv/h~300μSv/h

*1 令和4年12月1日現在、*2 JIS登録試験所の対象範囲

表 4 FRSの主なRI中性子標準場

標準場	照射室	核種及びエネルギー	線量当量率 (H^* (10)) 範囲*1
熱中性子場	第4照射室	²⁵² Cf (0.025eV) *2	1 μ Sv/h ~ 2 μ Sv/h
速中性子場		²⁴¹ Am-Be (4.4MeV) *3	30 μ Sv/h ~ 110 μ Sv/h
		²⁵² Cf (2.3MeV) *3	50 μ Sv/h ~ 300 μ Sv/h
減速中性子場		重水減速場	²⁵² Cf (2.1MeV)
	黒鉛減速場	²⁴¹ Am-Be (2.1~2.2MeV)	20 μ Sv/h ~ 50 μ Sv/h

*1 令和4年12月1日現在、*2 黒鉛パイル中に設置、*3 JIS登録試験所の対象範囲

表 5 FRSの主な単色中性子標準場

標準場	照射室	核種 (核反応) 及びエネルギー	線量当量率 (H^* (10)) 範囲*1
単色中性子場	単色中性子照射室	⁴⁵ Sc(p,n) ⁴⁵ Ti 8 keV 27 keV	~ 2 μ Sv/h
		⁷ Li(p,n) ⁷ Be 144 keV*1 250 keV 565 keV*1	70 μ Sv/h ~ 7 mSv/h
		³ H(p,n) ³ He 1.2MeV 2.5MeV	30 μ Sv/h ~ 3 mSv/h
		² H(d,n) ³ He 5.0MeV*1	100 μ Sv/h ~ 10mSv/h
		³ H(d,n) ⁴ He 14.8MeV*1 19MeV	5 μ Sv/h ~ 6 mSv/h

*1 JIS登録試験所の対象範囲

3. JIS登録試験所

外部放射線の管理において、適切な放射線防護上の判断を実施するためには、正しい放射線の測定が欠かせない。近年、放射線測定の信頼性確保がますます重要視されるようになり、例えば令和5年10月1日より改正放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則の施行に伴い、外部被ばくによる線量の測定について信頼性を確保するための措置を講じることが規制要求化されることなどFBNews読者諸賢はよくご存知であろう。放射線測定の信頼性を確保するための1つの根幹をなすのが、測定に使用する放射線測定器の校正である。校正は、ある決められた条件で基準となる線量と対応する放射線測定器の指示値の関係を確立する行為といえる。校正については、国内では従来から計量法校正事業者登録制度 (JCSS) に基づいた校正事業者などにより信頼性の高い校正サービスが提供されてきた。一方で、放射線の利用は社会の広い分野で拡大し、それとともに放射線管理のために測定する放射線のエネルギー範囲も拡大するなど、放射線測定器が想定する条件はより広範囲になってきた。そのため、エネルギー特性などさまざまな条件下での放射線測定器の性能を確かめる「試験」が放射線測定の信頼性を高めるために必要となる。しかし、この分野においては、これまで公的に認められた試験所が存在しなかったため、確かな技術的能力をもった第三者機関による試験証明を伴った製品評価を行うことができなかった。

工業製品の性能要求事項及びその試験方法は、対応する製品の日本産業規格 (JIS) に記載されており、放射線測定器についても例外ではない。こうしたJISに定められた製品試験を行う試験所を登録する制度がJNLAであり、独立行政法人製品評価技術基盤機構 (NITE) 認定センター (IAJapan) が運営している。試験所としての登録を受けるためには、登録を受けたいJISの試験項目をIAJapanに申請し、試験活動が国際標準化機構/国際電気標準会議が定めた試験所の能力に関する要求事項 (ISO/IEC 17025¹³⁾) に適合していることを審査により認められる必要がある。このように、JNLAの登録はJISに規定されている試験方法の区分ごとに行われることになる。

ここで、放射線測定器のJISの試験項目について、X・ γ 線及び β 線用受動形個人線量計等に関する規格であるJIS Z 4345 : 2017¹⁴⁾ を例に簡単に触れておく。JIS 4345 : 2017では、変動係数及び直線性、エネルギー・方向特性や温度・湿度特性など15の試験項目が記載されている。中でもとりわけ重要となるのが、エネルギー特性試験などの放射線に特有な試験項目である。これらの試験では、線量計の指示値と試験する標準場の基準線量との比である「レスポンス」を求めることが基本になる。エネルギー特性試験では、基準となる線質 (例えば¹³⁷Csからの γ 線) のレスポンスに加えて、照射するエネルギーをさまざまに変えた場合 (例えば60keV付近のX線) のレスポンスを取得する必要がある。

表6 計量トレーサビリティ確保のための仲介測定器

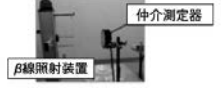


標準場	仲介測定器	仲介測定器の校正先	基準量	基準線量率測定の様子
γ線標準場	電離箱式測定器	産業技術総合研究所	空気カーマ率	
X線標準場				
β線標準場	電離箱式測定器	産業技術総合研究所	組織吸収線量率	
RI中性子標準場 (速中性子)	中性子フルエンス測定器 (可搬型ロングカウンタ)	JCSS校正機関	中性子フルエンス率	
単色中性子標準場	減速材付 中性子測定器	産業技術総合研究所	中性子フルエンス率	

表7 登録試験区分と試験範囲

試験区分	試験品目	試験範囲
JIS Z 4345の8.3	X・γ線及びβ線用受動形個人線量計測装置並びに環境線量計測装置	光子：30 keV～1.25 MeV β線： ¹⁴⁷ Pm, ⁸⁵ Kr, ⁹⁰ Sr/ ⁹⁰ Y (シリーズA標準場のみ)
JIS Z 4333の6.2.4 JIS Z 4416の7.2.4	X線、γ線及びβ線用線量当量(率)サーベイメータ 中性子用固体飛跡個人線量計	
JIS Z 4341の6.2.4	中性子用線量当量(率)サーベイメータ	単色中性子：144 keV, 565 keV, 5.0 MeV, 14.8 MeV 速中性子： ²⁴¹ Am-Be, ²⁵² Cf

エネルギー特性試験に限る。また、適合性の判定や結果に対する意見及び解釈はしない。

放射線測定器のJIS登録試験所を構築する上での課題としては、①こうしたJISに基づいたエネルギー特性などを実施できる施設設備、②計量トレーサビリティを確保し、正しく測定できる技術的能力、③試験結果の品質を保証する体制、の3項目を同時に保有し続けなければならないことであった。FRSは前述したとおり、幅広い線種・エネルギーに対して試験を実施できる環境や放射線計測に関する技術的知見も豊富に有していた。従って、①JISに準拠した試験をFRSで実現するための具体的な方法、②定期的な計量トレーサビリティの維持確認と不確かさの評価方法、③試験活動にかかる品質保証体制、を確立することでこれらの課題を解決し、JIS登録試験所を構築することができた。このうち、計量トレーサビリティについては、JIS Z 4511：2018¹⁾の8.1項(光子)、JIS Z 4514：2010⁷⁾の5.1項(β線)、及びJIS Z 4521：2006⁵⁾の6項(中性子)に従って、仲介測定器を用いた各標準場の基準線量率測定により確保し、定期的に維持確認する仕組みを整備した(表6参照)。また、高い品質の試験結果を提供し続けるための仕組みとして、ISO/IEC 17025：2017に基づく品質マネジメントシステムを導入

した。品質マネジメントシステムにおいては、試験依頼の受領から、試験品目の受入れ、試験の実施、試験証明書の発行までの一連のプロセスについての手順を定めている。これらの試験活動は原子力機構原子力科学研究所放射線管理部に在籍し、FRSの維持管理や運用に携わる9名(令和4年12月現在)の力量認定された試験要員により実施される体制とした。試験所構築にかかる詳細については文献¹⁶⁾を参照いただきたい。

FRSにおいて、放射線測定器のJISに基づくエネルギー特性試験を適切な品質保証体制の下で実施できる状況が整ったことから、令和3年8月にJNLAの試験所登録申請を行い、登録認定機関であるIAJapanによる審査を経て、令和4年6月にJIS登録試験所が誕生した。FRSのJIS登録試験所で可能な試験の範囲を表7に示す。これらの試験に対しては、JNLA標章付きの試験証明書を発行することができ、これが試験結果に対する信頼性の証しとなる。令和4年12月現在では、表1～5に示した一部の標準場を利用した4つのJISに示されるエネルギー特性試験に限定しており、国際MRA(国際的に通用する試験証明書を発行するための仕組み)には未対応であることに注意

が必要である。また、試験結果についてJISへの適合性の判定や結果に対する意見及び解釈についても範囲外としている。

最後に、FRSのJIS登録試験所で実施する試験サービスの内容についてJIS Z 4345：2017に基づくエネルギー特性試験を例に簡単にご紹介したい。まず、試験品目として受け付けられる線量計は、何れも受動形で個人線量当量 $H_p(10)$ 、 $H_p(3)$ もしくは $H_p(0.07)$ を測定する線量計、または環境の線量計測に用いられる周辺線量当量 $H^*(10)$ や方向性線量当量 $H'(0.07)$ を測定する線量計である。原子力機構の施設供用制度¹⁷⁾を通して試験の依頼を受け、依頼内容が当該JISに規定された方法で実施可能な場合にJNLAの試験として正式に受け付けられる。試験においては、特に指定がない限り、光子については¹³⁷Csからの γ 線、 β 線については⁹⁰Sr/⁹⁰Y線源を基準として、表1～3で示したエネルギー範囲で希望するものに対して実施し、相対レスポンスをその不確かさとともに試験の結果として報告することになる。利用申し込みは、年2回行われる定期募集のほか、随時利用も可能であり、JAEAイノベーションハブ(renkei.shisetsu@jaea.go.jp)に利用申込書等の必要書類を提出することで行える。詳細については、原子力機構産学連携Webページ¹⁷⁾を参照いただくとともに、技術的な事項に関してはFRS施設供用窓口(riyou.frs@jaea.go.jp)へ、事務的な事項に関しては上記JAEAイノベーションハブへ気軽にお問い合わせいただきたい。

4. おわりに

FRSは幅広い範囲で放射線のエネルギーを変えた放射線測定器の試験が可能なが大きな特徴である。こうした特徴を踏まえ、4つのJISに基づくエネルギー特性試験に関して国内では初となる放射線測定器のJIS登録試験所を構築した。JIS登録試験所の誕生により、公的な試験証明書をもって放射線測定器の性能を証明することが可能になった。これにより、放射線測定器の信頼性確保に貢献するとともに、ユーザーによる製品判断の指標を与えて良質な製品の創出を促進し、製品輸出の際の要求性能の証明も容易になることで製造者の競争力を高めることにもつながることが期待される。今後は、利用者の要望も踏まえ、対象エネルギー範囲、方向特性試験などエネルギー特性試験以外のJIS試験項目、電子線量計など対象とするJISの拡充や国際MRA対応認定の取得も検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 日本産業規格. X線及び γ 線用線量(率)測定器の校正方法. JIS Z 4511：2018 (2018)
- 2) 清水 滋, 澤島忠広, 梶本与一他. 放射線測定器の性能試験に用いる国際規格に準拠したX線標準場の整備, JAEA-Technology 2011-008 (2011)
- 3) 清水 滋, 澤島忠広, 梶本与一他. 放射線測定器の性能試験に用いる国内規格に準拠した中硬X線標準場の整備, JAEA-Technology 2010-009 (2010)
- 4) M. Kowatari, H. Yoshitomi, S. Nishino, *et al.* Establishment of a low dose rate gamma ray calibration field for environmental radiation monitoring devices. Radiat. Prot. Dosim. 187 (1) 61-68 (2019)
- 5) 辻 智也, 吉富 寛, 古渡意彦, 谷村嘉彦. ¹³³Ba線源を用いたガンマ線校正場の構築, 第53回日本保健物理学会研究発表会 (2021)
- 6) M. Kowatari, and Y. Tanimura, Establishment of 6- to 7- MeV high-energy gamma-ray calibration fields produced using the 4-MV Van de Graff accelerator at the facility of radiation standards, Japan Atomic Energy Agency. Radiat. Prot. Dosim. 168 (3) 300-313 (2016)
- 7) 日本産業規格. β 線組織吸収線量測定器及び線量当量測定器の校正方法. JIS Z 4514：2010 (2010)
- 8) H. Yoshitomi and M. Kowatari. Influence of the irradiation systems on beta-ray calibration for dosimeters. Jpn. J. Health Phys., 51 (3) 160-166 (2016)
- 9) S. Nishino, Y. Tanimura, Y. Ebata and M. Yoshizawa. Development of the graphite-moderated neutron calibration fields using 241Am-Be sources in JAEA-FRS, J Radiat Prot Res 41 (3) 211-215 (2016)
- 10) Y. Tanimura, M. Yoshizawa, J. Saegusa *et al.* Construction of 144, 565 keV and 5.0 MeV monoenergetic neutron calibration fields at JAERI. Radiat. Prot. Dosim. 110 (1) 85-89 (2004)
- 11) Y. Tanimura, M. Tsutsumi and M. Yoshizawa. Determination of neutron fluence in 1.2 and 2.5 MeV mono-energetic neutron calibration fields at FRS/JAEA. Progress in Nucl. Sci. Tech. 4 392-395 (2014)
- 12) Y. Tanimura, J. Saegusa, Y. Shikaze *et al.* Construction of monoenergetic neutron calibration fields using ⁴⁵Sc(p,n)⁴⁵Ti reaction at JAEA. Radiat. Prot. Dosim. 126 (1-4) 8-12 (2007)
- 13) International Organization for Standardization. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/IEC 17025：2017 (2017)
- 14) 日本産業規格. X・ γ 線及び β 線用受動形個人線量計測装置並びに環境線量計測装置. JIS Z 4345：2017 (2017)
- 15) 日本産業規格. 中性子線量当量(率)計の校正方法. JIS Z 4521：2006 (2006)
- 16) 吉富 寛. Isotope News 掲載予定
- 17) 原子力機構産学連携Webページ (<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/facilities.html>)



著者プロフィール

2004年大阪大学大学院理学研究科宇宙地球科学専攻修士課程修了。同年、日本原子力研究所(現、日本原子力研究開発機構)に入所し、核燃料物質取扱施設の放射線管理、個人線量管理などに従事。2011年以降、現在に至るまで放射線標準施設棟の校正設備の維持管理及びこれらを利用した放射線計測技術、線量評価技術の開発に従事している。

今回はPET製造部 佐藤泰治部長、川崎PETラボ 佐野浩亮ラボ長、技術業務グループ 村上耕一グループ長よりご説明いただきました。(写真1)



写真1 会議室にて

会社概要

PDRファーマ株式会社は、富士フィルム富山化学株式会社より放射性薬品医薬品事業を継承し、2022年3月よりペプチドリーム株式会社の子会社として事業を開始しました。

1968年に株式会社第一ラジオアイソトープ研究所として創業以来、半世紀にわたり、放射性医薬品を継続的に供給することを通じ、医学の発展に寄与してきました。現在、以下のとおり国内3か所に生産拠点を構えています。(図2) 千葉事業所：

放射性医薬品の研究及び生産拠点。SPECT製剤及びRI治療薬を製造。

川崎PETラボ、茨木PETラボ：

PET製剤の研究及び製造。

核医学分野において、研究、開発、製造、販売、物流、情報提供まで放射性医薬品を一気通貫で提供するという特徴あるバリューチェーン



図2 PDRファーマ株式会社の各拠点

を有しており、相互の緊密な連携により、精度の高い核医学検査画像の提供をしています。

川崎PETラボ

PET診断薬の研究、開発、製造、物流機能を担っています。放射性医薬品の中でも、特に半減期の短いPET診断薬を注文に合わせて迅速、正確にデリバリーすべく、厳しい品質管理の下、高いクリーンルームレベルで毎日製造して配送する独自の生産・物流の仕組みにて運用しています。ペプチドリームグループの一員となったことで同社の革新的な創薬技術を活用し、最先端の放射性医薬品を展開することでアンメット・メディカルニーズ（未だ有効な治療法がない疾病に対する要望）に応え、様々な疾病で苦しむ方々に貢献することを目指しています。

製造している製剤

川崎PETラボでは、2016年12月にアミヴィッド®静注、2017年2月にフルデオキシグルコース (¹⁸F) 静注「FRI」の製造販売承認を取得し、製造しています。

主な配送範囲は首都圏および関東一円です。羽田空港に近い立地であるため空輸により全国への配送も可能です。但し、近畿圏は大阪の茨木PETラボから配送しています。

アミヴィッド®静注：

脳内のアミロイドβプラークの可視化を目的としたPET検査用放射性医薬品です。アルツハイマー型認知症が疑われる認知機能障害を有する方の脳内アミロイドβプラークの可視化を効能・効果として製造販売承認を取得しています。

現在の認知症検査は、神経心理検査や画像検査など包括的に検査を行った上で統合的に診断が下されませんが、若年層での症状や認知症では見られないような症状が発生した場合は確定診断が難しいケースもあります。

そんな中、アルツハイマー型認知症では、アミロイドβと呼ばれる異

常なたんぱく質が凝集したアミロイドβプラークが脳全体に蓄積することから、アミヴィッド®静注を使用した検査により得られるアミロイドβプラークの可視化画像は、アルツハイマー型認知症を確定診断するための有用なツールになると考えられます。

こうした背景から、アルツハイマー型認知症の診断薬としてアミヴィッド®静注の製造、販売、物流体制を整えています。現段階では自由診療の対象となっていることもあり、研究レベルでの使用が多くを占めています。

昨今アルツハイマー病に関する新薬が海外で使用され始めており、国内でも開発が進むことが予想されます。こうした状況からアルツハイマー型認知症の診断も重要度が増し、核医学においても大きな期待が寄せられています。

フルデオキシグルコース (¹⁸F) 静注 [FRI] (FDG):

主に悪性腫瘍の診断に用いられるFDGは30分間隔の検定時間と複数の放射能サイズを提供することで、医療機関側での適切な量での投与並びに柔軟なスケジュール選択が可能となります。放射性同位元素F-18は半減期109分と短半減期核種の性質があるため、医療機関への納品時刻を考慮し、検定時間に合わせた放射能にて製造しています。図3に記載のとおり、検定時間1時間前では約150%の過剰投与量となります。しかし、検定時間を30分間隔にすることによって過剰放射能をできる限り抑えて納入することが可能となり、放射性医薬品からの被ばく影響を低減することができます。

F-18は511keVと実効エネルギーが高く、放射性医薬品から患者様及び医療従事者様の被ばく考慮が放射線管理の面でも重要な役割を果たすため、30分間隔の検定は有効であると感じました。



写真2 「FDG」のバイアルと輸送容器

PDRファーマ株式会社は2022年11月に米国Eli Lilly社との間でアルツハイマー型認知症のPET診断薬であるTauvid®に関する日本における共同開発契約を締結しました。

米国では承認を受けている脳内の異常蓄積タウタンパク質による神経原線維変化 (NFTs) を可視化する放射性診断薬Tauvid®の国内製造販売に向け、Eli Lilly社と共同で取り組んでいきます。

アミロイドβ可視化診断薬のアミヴィッド®静注については承認を受け市場へ出ていますが、アミロイドβと同様にアルツハイマー型認知症の悪性化に関わるとされるタウタンパク質の異常な蓄積の可視化も行うことでアルツハイマー型認知症診断薬の活用範囲がより一層拡大していくことを期待しています。

今後の展望

従来のがんの放射線治療においては、一般的に画像診断後に非特異的な放射線治療等が行われています。一方、次世代の放射線治療では、がん細胞を特異的に発見する高選択性キャリアを用いて、がん細胞をピンポイントに診断・治療することでより治療効果が高く、副作用の少ない放射線治療の実現を目指しています。

今後、このような診断と治療が一体化した「セラノステイクス」を実用化し、低用

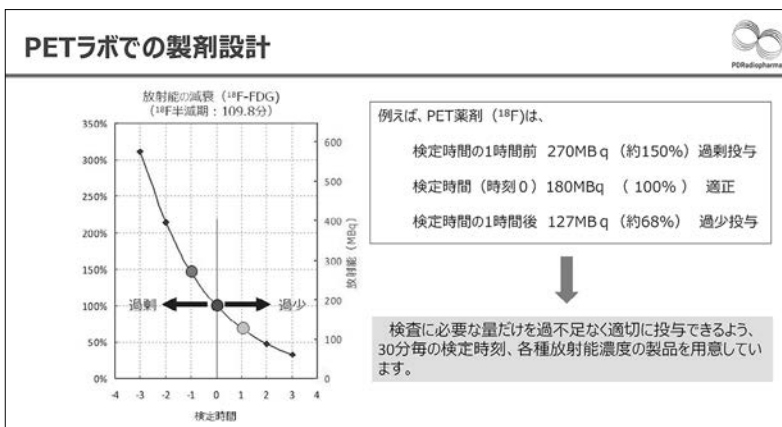


図3 検定時間と放射能の減衰について

量・安全・効果的な画像診断薬・治療薬の供給の役割を担いたいと考えています。

ラボ棟見学

説明をいただいたあと、実際に内部の見学です。川崎PETラボは倉庫棟、事務棟、ラボ棟の3つの建屋からなります。(図4)

ラボ棟は地上2階建ての建屋です。入口は2階にあり、2重扉となっています。(写真3)

中に入り、1つ目の扉を閉めないで、次の扉が開かない仕組みとなっています。

入るとすぐに管理区域の入口となります。(写真4)

中に入って靴を履き替え、見学スタートです。



図4 川崎PETラボ 構内図



写真3 川崎PETラボ 入口

汚染検査室はハンドフットクロズモニタとサーベイメータ類が置かれていました。

サイクロトロンが設置されている1階へ向かいます。

内部は基本的に撮影禁止とのことで撮影ができませんでしたが様々な道具や部品類が大きな棚に整理しておかれていました。

サイクロトロンの日常点検は勿論のこと、定期点検、修理等もPDRファーマ株式会社の社員が実施しています。

お客様である医療機関へ必要な時間にお届けするため、故障してお届けできないとなると医療機関の方はもちろん患者様にも迷惑が掛かります。そのため、トラブルが起きても即時対応できるように訓練を重ね、今の状態を維持しています。定期点検は暦上の長期休暇の期間に実施するようにしています。

サイクロトロンの入口壁を空けた状態の写真は撮影許可をいただきましたので掲載いたします。(写真5)

前述のとおり、川崎PETラボではF-18を使用した製剤を製造しています。

流れは、サイクロトロン室でF-18を製造し、調製室(クリーンルーム)でF-18標識製剤を調製



写真4 管理区域入口



写真5 サイクロトロン室 入口

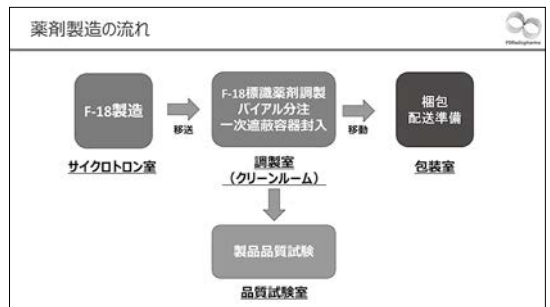


図5 薬剤製造の流れ

製品試験について (FDG)		放射性医薬品基準	
放射性医薬品基準		放射性医薬品基準	
放射性医薬品の製法、性状、品質、貯法などを取りまとめたものである。		放射性医薬品基準	
試験項目	放射性医薬品基準	手法	
性状	無色～微黄色澄明	肉眼	
確認試験	フッ素18	0.511 MeV (1.022 MeV) にピークを認める	半導体検出器
	半減期	105～115分	放射能測定機
純度試験	放射化学的異物	≤5%	TLC
	異核種	異核種を認めない	半導体検出器
	クリプトフィックス222	≤20 ppm	TLC
	アルミニウムイオン	<2 ppm	試験紙
	アセトニトリル	≤110 ppm	GC
pH	5.0～7.5	pHメータ	
定量	本品の適当量	放射能測定機	
エンドキシシ	<15.0 EU/ml	ゲル化法又は比色法	
無菌試験	菌の繁殖を認めない	無菌培養	

図6 製品試験項目一覧

し、製品試験室で検査を実施。製剤を包装し、発送しています。図5および図6を参照ください。

製剤の安定供給

PDRファーマ株式会社では全国の核医学施設へ放射性医薬品の安定した供給を実現するため様々な取り組みが実施されています。先ほども一部を紹介しましたが、安定供給体制を実現するための取り組みの一つに、医薬品の機械的な製造トラブルが発生した際の対応があります。

トラブル対応が可能な技術者を教育・育成し、即対応可能な体制を構築しています。またトラブル対応としPDRファーマ株式会社が抱えている製造工場の千葉工場、川崎PETラボ、茨木PETラボとも連携を図り、各工場間でも緊急時の対応が取れるよう人員調整を行いお客様への安心創造を築き上げています。

このような体制構築等が医療現場の皆様へ毎日安心して放射性医薬品をご使用いただく一助と

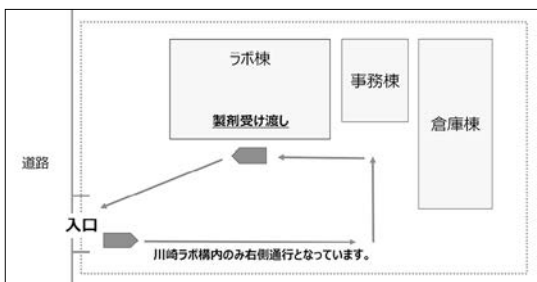


図7 構内の車の順路

なっていると感じました。

また、川崎PETラボはPET製剤の製造・発送に特化している施設ということもあり、建屋自体もコンパクトにまとめられており、細部にリスク(トラブル)発生時に対応するための様々な工夫がされていました。

製剤はトラック等の車による配送が多いため、車が構内に多く入構します。

川崎PETラボでは入口から向かって左側のラボ棟に製剤を受け渡す場所(ラボ棟1階)があります。そのため、構内は入口から入って車線の右側を通行する形になっています。これは引き取った後、すぐに出口に向かえるようにするための工夫で、右側通行で一旦奥まで車で入り、奥で旋回し、車を出口に向かった状態で製剤引き取りするためです。(図7)

余談ですが、一緒に訪問した営業担当は構内が右側通行になっていることを疑問に思っていたようで、やっと疑問が晴れたといっていました。

今回は、FBNews編集委員会より中村、前原、高橋、横浜営業所の原熊が訪問させていただきました。(写真6)

お忙しいところ御対応いただきましたPET製造部 佐藤泰治部長、川崎PETラボ 佐野浩亮ラボ長、技術業務グループ 村上耕一グループ長、関係者の皆様に感謝申し上げます。ありがとうございました。



写真6 川崎PETラボ正門前にて
写真右より原熊、佐野ラボ長、佐藤部長、
村上グループ長、中村、高橋

(文責：高橋 英典)



中川 恵一

東京大学医学部附属病院

子宮頸がんⅡ期の治療法

子宮がんには子宮の入り口付近(子宮頸部)から発生する子宮頸がん、子宮の奥(子宮体部)から発生する子宮体がんの2つがあります。両者は発生部位だけではなく、原因や特徴も異なる全く別の病気と言えます。

子宮頸がんは子宮がんの約7割を占めます。国内では毎年約1万人の女性が罹患し、約3,000人が死亡しています。2000年以降、患者数、死亡数とも増加しているのは問題です。

子宮頸がんの発症原因のほとんどが性交渉によるヒトパピローマウイルス (HPV) の感染です。若い世代でのHPVの感染拡大などにより、子宮頸がん患者の若年化が進み、30歳代後半がピークとなっています。HPVワクチンを性交渉未経験のうちに投与することで、発症リスクを1割まで下げられますが、この連載でも書いたように、日本では接種が停滞しています。

子宮頸がんは、前がん病変の異形成、子宮頸部の表面だけにがんがある上皮内がん、周囲の組織に入り込む浸潤がんに分類されます。異形成や上皮内がんの場合、子宮を温存できる円錐切除術が行われています。

浸潤がんの場合、手術、放射線治療、化学療法を3つを単独、もしくは組み合わせて治療します。しかし、日本での治療の実態は海外とはかけ離れています。

とくに、子宮頸部を支えている組織(子宮



放射線治療の照射装置

傍組織) にがんの浸潤があるステージⅡでは、放射線治療と抗がん剤を同時に行う「化学放射線治療」が世界的には主流です。

たとえば、がん治療先進国のスウェーデンの場合、ステージⅡの子宮頸がんに対する手術は7%にすぎず、86%で化学放射線治療あるいは放射線治療単独が選択されています。ステージⅡの7割以上を占めるⅡB期(子宮傍組織にがんが浸潤)に限ると、手術はたった4%で、9割が化学放射線治療を受けています。

がん治療の国際的なガイドラインでは、ⅡB期の子宮頸がんに対して推奨される治療は化学放射線治療だけです。しかし、日本のガイドラインでは、ⅡB期に対しても、手術が第一に推奨されてきました。その結果、最近まで手術と化学放射線治療の件数がほぼ同じでした。

ただ、ⅡB期の子宮頸がんの手術では、約半数で術後の化学放射線治療が行われています。下肢のむくみで悩む患者も多いのが現状で、手術をせずに初めから化学放射線治療を受ける方が、時間的、経済的負担も少ないはずですが。

がん治療のガラパゴス化はいただけませんが、国内の最新ガイドラインでも化学放射線治療が推奨のトップとなりました。

しかし、女性の健康情報サービス『ルナルナ』と共同で行った調査でも、「多くの子宮頸がんは放射線治療で完治する」と正しく答えられた人は約3分の1にとどまっています。学校でのがん教育で放射線治療を教える必要があると思います。

子宮頸がんの放射線治療

- 体外照射: 原発巣+骨盤リンパ節への治療
- 腔内照射: 原発巣への治療



体外照射



腔内照射

東京電力(株)福島第一原子力発電所 「ALPS処理水放水トンネル」「海洋生物飼育場」

線量計測技術課 篠崎和佳子

2022年12月19日、福島第一原子力発電所を訪問し、ALPS処理水（多核種除去設備等で処理した水）を海洋放出するための放水トンネルと、ALPS処理水を添加した海水での海洋生物の飼育現場を見学・取材させていただきました。

洋放出を実際に始める時期は2023年春から夏ごろを見込んでいます。一方で、海洋放出に向けた放水トンネルの設置工事は着実に進められており、今回、工事中のトンネルを見学させていただくことができました。

1. ALPS処理水放水トンネル

現在、発電所の敷地はALPS処理水のタンクによって多くが占有されており、今後の廃炉作業を進めていく上で必要なスペースの確保が難しい状況にあります。政府はALPS処理水を海洋放出する方針を決定しており、海

トンネル見学の前に、まず、海拔11.5m地点にて、ALPS処理水希釈放出設備の全体の説明を受けました（図1）。上の方（海拔33.5m）に、処理水受入・測定確認・放出用の3つのタンク群があり、処理水はそこから配管を下り私たちの居た海拔11.5mのところまできます。そこには津波対策用緊急遮断弁、電気設備な

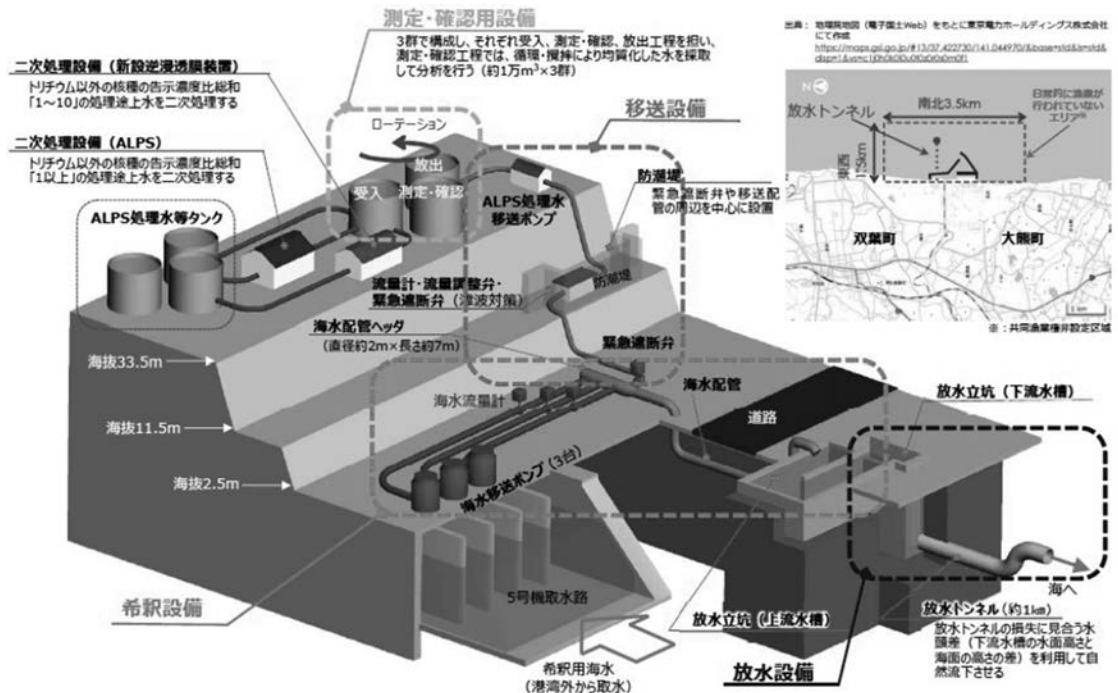


図1 ALPS処理水希釈放出設備および関連施設の全体像

(東京電力ホールディングス株式会社 2022年11月14日Press Release 多核種除去設備等処理水の取り扱いに関する「福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画変更認可申請書」別紙2より)

どが設置されています。さらに海拔2.5mまで配管をおろし、希釈用海水と合流させます。希釈用海水を移送するポンプは3台あり(常時2台以上運転)、1台あたり一日約17万 m^3 の海水を移送する一方、タンクからの処理水は一日約500 m^3 と設定するので、100倍以上に希釈されます(トリチウム濃度は1,500Bq/ m^3 未満に希釈)。海拔2.5mのところにある放水立坑(上流水層設備)は今まさに工事中でした。たて34.5m、よこ16.9m、高さ6mの構造物になるそうです。工場で製作されたプレキャスト部材をクレーンで吊って入れ、構築していく作業で、掘削中の様子を見学することができました(写真1)。



写真1 上流水槽設備の掘削現場

希釈した処理水は水槽に溜めトンネルを通して約1km先の海底から放出されます。1kmという距離は、放出した水が取水した海水に混入することを避けるためとのことでした。

トンネル工事は、シールドマシンで行われます。マシンの前面にある回転式面材に取付けられたカッターがついていて、土を掘って前に進んでいきます。マシンの中にシールドジャッキというのが12本あり、初めは縮んだ状態で、面材を回転させて土を取り込みつつ1m伸ばします。伸ばしたら一部のジャッキを抜いてスペースを作り、そこに鉄筋コンクリート製のトンネル壁面材(セグメント)を組み込みます。セグメントは内径2,590mm、外径2,950mm、厚さ180mmで、一つの円を作るの

に6枚使います。ジャッキを外して縮めてセグメントを組み込む作業を繰り返し、トンネルが1m完成します。1日で進む距離は15mほどだそうです。取材時、872mまで進んでいました。シールドマシンで掘削された土の回収は、比重と粘性を調整された泥水が送泥管を通してマシンの先端に送り込まれ、土と混合された後、排泥管を通して地上に送られます。

放水口となる予定位置には、4本の測量槽(やぐら)が仮設置されており、水面下にはケーソンとよばれる鉄筋コンクリート製の箱が設置され、さらにその内側に到達管が仕込まれています。到達管は、シールドマシンがケーソンに到着後、海上から回収するためのものです。ケーソンにシールドマシンを正確に到着させるため、測量槽にGPSを設置し位置情報を取得・管理しています。訪問した当日は天気が良く、護岸からの海の先に赤い槽をはっきりと確認することができました。今からトンネルの中を歩いてあの辺りまで行くのだな!とワクワクしました。

トンネル内に運び込むセグメントや資材は、将来的に海とつながるため、汚染の無いもので構築することが必要です。事前に汚染検査をし、汚染の無いものをラッピングして手前のエリアまで持ってきて、クレーンで運びます。したがって、この手前のエリアに立ち入る人についても、靴の履きかえ、足の裏・全身の汚染検査を行い、汚染を持ち込まないようにしています。私たちも靴を履き替え、汚染の無いことを確認後、エリアに立ち入りました。

いよいよトンネルです(写真2)。トンネルには足場があり、歩くたびに金属音が反響しました。私の身長が低いからかもしれませんが、内径2,590mmのトンネルは想像より余裕がありました。トンネルは、行きは勾配3.8%の下りで(帰りはもちろん上り)、その後平坦、最後の方で左にゆるくカーブ(500R)しています。坂を下りきったところに逸走防止装



写真2 トンネル入り口



写真3 トンネル内の様子。足場があり、泥水を送る管・戻す管、風管がある。

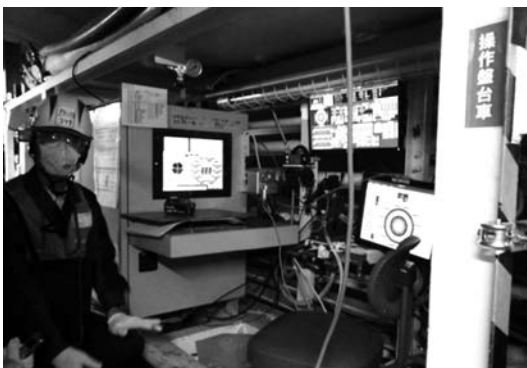


写真4 シールドマシン運転台車

置が設置されて
いました。資材
はバッテリーロ
コなどで3両の
資材台車と運転
台車で運ばれま
すが（資材は重
いため、運転台
車が後ろで前に
台車が連結され
る）、それらの
連結が外れて台
車だけが逸走し
た時に物理的に
脱線させるため
の装置です。こ
の現場では、逸
走装置の出番は
今まで一度もな
いとのことです。

トンネル内には、掘削された土の回収のための送泥管、返泥管がありました。青と黄で色が分かれていました。また、酸欠にならないようフレ

シュな空気を送るための風管もありました（こちらは緑色）（写真3）。

トンネル先端部付近の片側に27台の台車が並んでいました。電気系の台車、シールドマシンを動かすための油圧台車、シールドマシンを運転する運転台車などで、運転台車では、回転方向、ジャッキの伸縮、バルブ開閉などの操作を行います（写真4）。

トンネル内約860mを歩き、先端に到着しました。最先端には足場が無く、トンネルに直接立つことができましたが、円なのでバランスをとるのが難しかったです。シールドマシンはセグメントが組み終わった状態（ジャッキが縮んでいる状態）でした（写真5）。セグメントは全て同じ形状ではなく、テーパの有り無しなど複数の種類のセグメントを組み合わせ一つの円が作られていました。抜け落ちないための工夫であり、Kセグメントの組み位置も円ごとに（1mごとに）ずらしてあると説明を受けました。トンネル内を歩いている時は全く気づきませんでした。よく見ると本当に1mごとに違っていました。技術力の高さ・ノウハウを感じると共に、作業の大変さを思うと、872mも進んだことが信じられない気持ちでした。



写真5 トンネル最先端

今回、現場でご説明を聞いたことで、スケール感含め、ALPS処理水希釈放出設備の概要や放水トンネルの詳細をよく理解することができました。また、放水トンネルの工事現場に行く途中、敷地内には数多くのタンク群があり、敷地がタンクで占有されている様子も感じとることができました。

2. 海洋生物飼育場

放水トンネルに続き、ALPS処理水を添加した海水での海洋生物の試験飼育施設を見学させていただきました。ALPS処理水の放出に向け地元の方々や漁業関係者とコミュニケーションをしていく中で、最大の懸念事項である風評対策に関しては、学術的な説明をするよりも実際にALPS処理水を添加した海水で海洋生物を飼育し、元気に育っていることを見ることが重要であるとの意見が多数あったことから、飼育試験を始めたとのことです。ヒラメとアワビが試験対象に選定されましたが、いわゆる“常磐もの”として事故前からブランドであったこと他、ヒラメは飼育のノウハウが確立されており、また回遊魚と違いずっと海底にいるので飼いやすい、アワビは飼育に砂が不要なため砂の掃除の必要が無いというのも選ばれた理由だそうです。今後は海藻類についても試験を計画しているそうです。

通常ヒラメなどの飼育では、海水をくみ上げて水槽に入れそのままオーバーフローさせる「かけ流し方式」を使いますが、ここでは、使用している飼育水を捨てるができないため、「完全閉鎖循環型」という特殊な水槽で飼育していました。閉鎖循環型的水槽では、ヒラメの排泄物に含まれるアンモニアを無害化する必要があります。無害化の方法として、バクテリアを使用していました。バクテリアでアンモニアを亜硝酸に分解し、亜硝酸を硝酸に分解します。さらに、別のバクテリアで硝酸を窒素ガスに変えて、放散しているとのことでした。

飼育場（写真6、図2）は、1㎡のヒラメ水槽4基と0.5㎡のアワビ水槽1基が直列に連結されており、海水での飼育用に2系列、ALPS処理水添加海水での飼育用に2系列、そして予備槽が1列ありました。2系列あるのは、生き物なので何かの原因で万一1系列が全滅してしまっても、もう一つの系列で飼



写真6 海洋生物の飼育現場

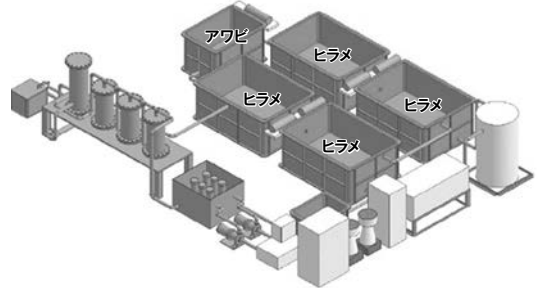


図2 海洋生物の飼育現場 1系列のイメージ図（海水飼育用に2系列、ALPS処理水添加海水用に2系列、予備で1系列設置されていた。）

育/観察を続けることができるためです。青い水槽は「海水」、黄色い水槽は「ALPS処理水添加海水」と色分けされていました。今後試験予定の海藻用に、縦長・横長の水槽が準備されていました。

海水とALPS処理水添加海水で、育ち方に影響があるのか、生残率に違いがあるのか、体内のトリチウムがどういう挙動をするのか、などが比較されます。飼育結果の評価には、ヒラメやアワビの専門家による判断や、海洋生物の専門家である近畿大学の家戸先生に写真やビデオ、場合によってはサンプルを送り判断いただくこととしているそうです。

水槽には、ヒラメやアワビがいっぱいいました（写真7、写真8）。ヒラメは150尾いるそうです。アワビは、岩手の黒アワビですが自然界の荒波にもまれていないので、本来の殻の色（ヒスイ色）をしていました。まだ3年物、もう少し大きくなると食べてもおいしくないそうです。アワビは密集度が高



写真7 飼育中のヒラメ



写真8 飼育中のアワビ

いと共食いする
 そうで（餌に魚
 粉が混じって
 いるので、肉の味
 を覚えてしまっ
 て食べてしまう
 のだそう）、密
 集度を下げた
 ために水槽を移
 変えているとこ
 ろでした。

飼育期間は3年間の予定ですが、事前に専門家による飼育の訓練を受けられたとのこと
 です。近畿大学、海洋生物環境研究所、環境
 科学技術研究所などの先生方により昨年3月
 から非管理区域で訓練を受け、管理区域での
 試験は昨年9月から開始されました。

FWT (Free Water Tritium、自由水型ト
 リチウム) については、試験は終了しており、
 データとしては今まで得られていた知見と同
 じであったとのこと。OBT (Organically
 Bound Tritium、有機結合型トリチウム) は、
 筋肉に取り込まれるスピードが非常に遅いの
 で平衡状態になるのに3年くらいかかるそ
 うですが、取り込みは指数曲線に従うので半年
 くらいの初期データを取れば近似曲線を引く
 ことができるため、処理水の放出までに結果
 の予測をお知らせすることはできるだろうと
 のことでした。

各系列の水槽の情報は、モニターで確認す
 ることができるようになっていました(写真9)。
 循環水の流量、水温、pH、ORP (酸化還元電位)、
 塩分、DO (溶存酸素) をモニターし、調整をす
 るそうです(淡水や重曹投入など)。また、タブ
 レット端末では、アンモニア濃度、硝酸濃度も
 モニターしていました。さらに、手分析による
 クロスチェックも行っているとのことでした。

ALPS処理水添加海水のトリチウム濃度は、
 1,500Bq/Lと30Bq/Lの2種類です。海水に、
 処理水タンクから直接とってきた水(トリチウ
 ム濃度が約15万Bq/L)を混ぜて、水槽内の
 トリチウム濃度を調整していました。当初
 1,500Bq/Lの濃度だけで試験する予定だった
 ところ、放出口ではもっと濃度が下がるので
 現実的な濃度でも試験した方が良いとの意見
 を受け、30Bq/Lの濃度も追加したそうです。

飼育スタッフは10名。一般の見学について
 は、ほぼ毎日見学があるそうです。



写真9 各系列の水槽のモニター

3. さいごに

社会の皆さまに、少しでも多くの安心をお
 届けするために行っている活動について、そ
 の一端を垣間見ることができ、大変貴重な経
 験をさせていただきました。お忙しい中、ご
 丁寧に説明・ご案内くださいました東京電力
 ホールディングス株式会社様に心より感謝申
 上げます。

**放射能・放射線
単位の由来**

高橋 正

第 2 回

キュリー curie : Ci

放射能の単位として、かつてはキュリーCiを用いた。歴史的には1910年の国際ラジウム原器委員会で1gのラジウムの放射能を1キュリーとしたが、1950年に国際放射線単位測定委員会(ICRU)は、1秒間に 3.7×10^{10} 個が壊変する放射性核種の量を1キュリーと定め、ラジウムの量に依存しないようにした。1975年に国際度量衡委員会は放射能のSI単位を $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ としたので、 $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ である。

この単位がピエール・キュリー (Pierre Curie: 1859-1906) とマリ・キュリー (Marie Sklodowska-Curie: 1867-1934) にちなむことは説明を要さないであろう。マリとピエールは1903年に放射現象に関する業績により第3回ノーベル物理学賞をA.H.ベクレル (A.H.Becquerel: 1852-1908) とともに受賞した。当時のノーベル賞は現在ほど有名ではなく、キュリー達が受賞したことで一躍知名度が上がったという。マリはポロニウムとラジウムの発見で1911年にノーベル化学賞も受賞した。ノーベル賞を2回受賞した研究者は5人いるが、二つの分野で受賞したのは、マリとポーリング (Linus Pauling: 1901-1994、化学賞と平和賞) しかない。

マリは1867年に帝政ロシアの統治下にあったポーランド・ワルシャワに生まれた。1891年にパリのソルボンヌ大学に留学し、理学部で物理学や数学などを修めた。1894年に鋼の磁性の研究のことでピエールを紹介された。このときピエールは35歳だったが、結晶の対称性や圧電効果、磁性研究などで名を成していた。マリは学業を修めた後は帰国して祖国に尽くすつもりでいたが、ピエールの熱烈なプロポーズを受けて翻意し、翌年7月に結婚した。ポロニウムやラジウムの発見などノーベル賞に至った二人の研究については、本誌544号 (2022年4月号) の青山伸氏による解説をご覧ください。

ピエールとマリの間にはイレーヌ (Irène: 1897-1956) とエーヴ (Ève: 1904-2007) が生まれた。二人は対照的な姉妹だったという。イレーヌは長じてピエール亡きあとのマリの共同研究者となり、ジャン・フレデリック・ジョリオ (Jean Frédéric Joliot: 1900-1958) と結婚した。共にジョリオ-キュリー姓を名乗った二人は、1934年1月に $^{27}\text{Al}(\alpha, n)^{30}\text{P}$ で生成した ^{30}P の β^+ 壊変を観測し、人工放射能を発見した。これにより翌年ノーベル化学賞を受賞した。これまでに8組が親子でノーベル賞を受賞しているが、夫妻で2世代はこの家族だけである。いっぽうエーヴはピアニストとジャーナリストとして活躍した。エーヴはマリが亡くなって程ない1937年に「キュリー夫人伝」を出版した。これはキュリー夫妻に関する貴重な資料ともなっている。

マリは当時としては短命ではないが、放射線障害による再生不良性貧血を患っていた。1920年頃には放射線の危険性が明らかになっていたのに、マリたちもイレーヌもそれに無頓着だった。1903年にノーベル賞を受賞したとき、夫妻は健康が思わしくないこともあり、授賞式を欠席した。ピエールの症状は重く、疲れやすく原因不明の痛みに襲われていた。彼はラジウムを肌に何時間も晒して、皮膚が赤くただれるのを確かめもした (これはラジウムのがん治療への応用の発想につながった)。二人とも素手で実験していたので、放射線火傷をしていたという。マリも疲れやすく、博士論文の研究の間に体重が9kg近くも減少した。白内障の手術を3度も受け、晩年は視力がかなり低下していた。外部被ばくだけでなく、内部被ばくもあったであろう。加えてマリはイレーヌとともに第1次世界大戦時に負傷兵のX線診療にも関係したので、その被ばくも推定される。

●●お知らせ●●

眼の水晶体の等価線量に対する ケア線量連絡リストの送付を開始します

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。2023年5月8日算定分より、眼の水晶体の等価線量に対する「放射線管理レポート ケア線量連絡リスト」の送付を開始いたします。

ケア線量連絡リストとは、算定結果が弊社で定めている基準線量以上の場合、FAXまたはメールにて、「個人線量算定値報告書」などがお手元に届くよりも早く、お客様へ線量の情報を通知するサービス（無料）です。（ただし、オプションサービスの「速報リスト」をご利用いただいているお客様には、重複するため送付しておりません。）

2021年4月1日より、眼の水晶体の等価線量限度が50mSv/年かつ100mSv/5年に引き下げられております。

ケア線量連絡リストが送付されましたら、線量限度を超えないようご注意くださいようお願い申し上げます。

《ケア線量連絡リスト基準線量》

項目	基準線量 (mSv)	備考
実効線量	1.6	
等価線量 (眼の水晶体)	1.6	* 追加しました
等価線量 (皮膚)	—	
等価線量 (女子腹部表面)	0.1	

《ケア線量連絡リスト》

放射線管理レポート		ケア線量連絡リスト		作成日 2023/05/12									
千代田テクノル病院 御中		算定日 2023/05/12		お客様コード：123-4567-000									
このリストは弊社で定めた連絡基準線量（実効線量、水晶体、腹部表面）以上の方を対象に作成しています。				グループ名：放射線科									
整理番号	ご使用者	性別	ご使用期間	個人線量 (mSv)			測定値 (mSv)					受理日	
				実効線量	水晶体	皮膚	測定部位	H10 Xγ線	H10 中性子	H70 Xγ線	H70 β線		H3 Xγ β線
001	千代田 太郎	男	2023/04/01~2023/04/30	1.6	1.6	1.5	NS	胸	1.6	X	1.5	X	(23/05/08)
002	文京 花子	女	2023/04/01~2023/04/30	0.3	2.1	2.1	FS	頭	2.1		2.1	X	(23/05/08)
003	千代田 優子	女	2023/04/01~2023/04/30	0.1	0.1	0.1	FX	腹	0.1		0.1	X	(23/05/08)

* 等価線量(水晶体)連絡基準線量1.6mSv以上の線量が算定された「整理番号 002 文京花子さん」についても、新たにケア線量連絡リストにて報告いたします。

(線量計測技術課)

サービス部門からのお願い

ガラスバッジWebサービスをご利用ください

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。

弊社では、インターネットでタイムリーに新規申込・追加・変更等の手続きができる便利な「ガラスバッジWebサービス」を提供しています。(通信料はお客様負担)

《サービス内容のご紹介》

・ガラスバッジのお申込み先、ご使用先やお届先などの登録内容変更

・ガラスバッジの追加・名義変更・休止・中止など

弊社営業日の午前中に追加操作をいただくと、当日中にガラスバッジを発送いたします。

また、変更操作された内容が、当日の報告書作成成分から反映されます。

・ご使用者名簿、お届者名簿のダウンロード

ご使用者名簿は、作成時点のご利用者の登録内容が確認できます。

線量計お届者名簿は、お手元にお届けしたガラスバッジの明細が確認できます。

・報告書類、電子報告データのダウンロード

個人線量算定値報告書、個人線量算定値管理票などをPDF形式でダウンロードでき、報告書をお急ぎの方に便利です。また、報告書の電子データをCSV形式でダウンロードすることができます。(放射線業務従事者個人管理システム「ACEGEAR NEO」に対応)



この他にも、ご使用者の登録・変更履歴の照会やリアルタイムで確認できるご使用者の登録状況、グループごとのご使用先の登録内容やご請求書等のお届先情報に関する検索機能を兼ね備えております。

弊社ホームページからお申込みいただけますので、ぜひ登録のご検討をお願いいたします。

〔ホームページURL〕 <https://www.c-technol.co.jp/>

編集後記

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構原子力科学研究所 吉富寛様より、同機構の標準場の現状とJIS登録試験所詳細について紹介いただきました。国内では初となる放射線測定器のJIS登録試験所の誕生により、公的な証明書に基づいて放射線測定器の性能を証明することが可能となりました。
- 今月号ではFBNews編集委員が訪問した施設を二つ紹介しています。一つ目は、神奈川県川崎市にある「PDRファーマ株式会社 川崎PETラボ」です。こちらの施設では、厳しい品質管理のもと、高いクリーンルームレベルで「フルデオキシグルコース (¹⁸F) 静注「FRI」(FDG)」を製造されています。独自の生産・物流の仕組みで運用され、空輸により全国の核医学施設へ配達することも可能とのこと。二つ目に、東京電力㈱福島第一原子力発電所を訪問し、ALPS処理水(多核種除去設備等で処理した水)を海洋放出するための放水トンネルの設置工事現場と、ALPS

処理水を添加した海水での海洋生物飼育現場を見学させていただきました。

- 東大病院 中川恵一先生のコラムでは、子宮頸がんⅡ期の治療法についてご紹介いただき、子宮頸がんの要因と、リスク低減の一例、治療においてはⅡ期に対して日本国内における最新のガイドラインでも化学放射線治療が推奨のトップとなった最新情報を学びました。弊社は子宮頸がんの放射線治療のための腔内照射装置を販売しています。今後がん治療の一端を担い、がん撲滅を願います。
- 東邦大学名誉教授 高橋正先生より第2回「放射能・放射線単位の由来」と題して「キュリー: Ci」の名称由来についてご紹介いただきました。
- 弊社サービスの「放射線管理レポート」では、ケア線量連絡リストに「眼の水晶体の等価線量を追加」し、弊社設定の基準線量が超えた方を一早くお知らせいたします。日頃の放射線安全管理の一助になれば幸いです。(MH)

FBNews No.557

発行日/2023年5月1日

発行人/井上任

編集委員/新田浩 小口靖弘 中村尚司 野村貴美 古田悦子 青山伸 福田達也

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)