

■ 読者投稿欄

放射光施設の放射線管理

野村昌治 (高エネルギー加速器研究機構 名誉教授)

放射光実験施設の実験ホールが放射線管理区域であり、ユーザーが放射線業務従事者となることは、日本では常識となっている。海外には、そうでない放射光施設もあり、実態を調査したところ、日本の常識は世界の非常識であることが分かったので報告する。なお、加速器を収納するトンネル内が管理区域であることは世界共通である。

1. 世界の放射光施設における放射線管理の状況

調査している中で、放射光施設の放射線管理に関するワークショップ RadSynch が2001年から9回開催されていることを教えられた。丁度、“Radsynch2017 Questionnaire and Survey Results” が報告されており¹⁾、これと各施設のホームページや論文等から調査した国外の放射光施設の実験ホールに関する放射線管理状況を **Table 1** に記す。SOLARIS は施設の立ち上げに伴い実験ホールが管理区域とされているが、運転が安定し、放射線レベルが十分に低くなれば、非管理区域とされると思われる。表を見ると、実験ホールを放射線管理区域としているのは主に第二世代以前の放射光施設であり、ほぼ全ての第三世代放射光施設で非管理区域としていることが分かる。

2. 放射線管理の考え方

世界的には ICRP (国際放射線防護委員会) の Publica-

tion 60 「1990年勧告」²⁾ に記されている公衆被ばくの線量限度の勧告値である 1 mSv/y を基準としている。年間2000時間実験ホールに居ても、この基準を超えないようにすることで、実験ホールを放射線管理区域としていない。入射時やビームダンプなどで放射線レベルが上昇することも予想され、遮蔽壁のすぐ外やビームラインハッチの壁にモニターを設置し、0.5 μ Sv/h または 2 μ Sv/4 h を超える場合は、入射を停止するインターロックを設けて 1 mSv/y を担保している。SOLARIS, BESSY-II, CLS が管理区域としているのは、現時点でこの基準を満たすことを担保できないことが理由のようである。SLRI では X 線の BL でも実験ハッチが設けられていないという特殊事情があり、ホールを管理区域としている。

日本の放射線規制は他国と比べて厳しいという誤解があるが、後述するように、日本では 1.3 mSv/3 ヶ月を超えるおそれがある場合に放射線管理区域に指定する必要がある、むしろ日本の方が ICRP の勧告より緩い。ではなぜ、欧米の施設では非管理区域となっているのだろうか。ESRF 建設時の “Red Book”³⁾ には、“The shielding must permit unrestricted access to the experimental hall” とさらっと書かれている。Red Book は何回か目を通したはずだが、迂闊にも全く気にとめていなかった。また、“ESRF radiation protection policy” には “nobody working at the ESRF should be considered as exposed worker” と書かれているそうである⁴⁾。他の施設でも、リングを収納したトンネルより内側にあるサービスエリアと実験ホールへの public access を確保するという強い意志が見られる。第二世代以前の施設では、自分たち実験者の被曝量が基準を超えないことを目的としていたが、第三世代施設では利用者の便を考慮し、実験ホールを非管理区域とするための遮蔽が設計されている。加速器の性能以外に、このような運営の観点が第二世代以前と第三世代放射光施設で大きく異なっているが、日本で考え落としていた点である。

実験ホールが管理区域であると、ユーザーは放射線業務従事者としての手続きが必要になり、その所属機関としては、教育・健康診断・被曝管理などの管理コストが発生する。放射光ユーザーの多くは、放射光利用以外で放射線業務に従事することは希で、また利用も年数日であるので、一人当たり年数万円と言われるコストは利用に当たっての敷居を高くする。所属機関で管理出来ず、外注する場合は、このコストは更に高くなる。日本には 1 万人の放射光利用者がいると言われるが、総計で年数億円、十年で数

Table 1 Classification of experimental halls.

区分	施設名 (国名)
放射線管理区域	SOLARIS (波), BESSY-II (独), CLS (加), CHESS (米), BSRF (中), NSRL (中), SLRI (タイ), INDUS-1/2 (印)
一般区域*	ESRF (仏), MAX-IV (スウェーデン), Elettra (伊), ALBA (スペイン), ANKA (独), PETRA III (独), DIAMOND (英), SOLEIL (仏), SLS (スイス), APS (米), ALS (米), NSLS-II (米), SPEAR-III (米), UVX (伯), Sirius (伯), TLS (台), TPS (台), PLS-II (韓), SSSL (星), AS (豪), SESAME (ヨルダン), European FEL (独), LCLS (米)
不明	CAMD (米), SSRF (中)

* 国によりルールが異なるが、RadSynch のアンケートで、非管理区域でユーザーが radiation worker になる必要がない (より許容線量が低い) 施設。

SSRF はバッジ着用、CAMD は管理区域に近い取扱をしている。

十億円のコストを支払っていることになる。安全を担保するためにルールを遵守することは不可欠だが、放射線業務従事者になる必要がなくなれば、これらの非生産的な管理コストは削減でき、より多くの人が放射光を利用できるようになる。一方、施設側としては、万が一にも基準を超えることが無いように、入射効率の向上や加速器内でのビームロスやビームラインでの放射線の発生を削減し、効率的にリングトンネルやビームラインハッチ、実験ハッチの遮蔽を行い、放射線モニターや安全系も充実する必要がある。放射線レベルを抑えるため、FLUKA等のシミュレーションソフトを使って、加速器だけで無くビームライ

ンの遮蔽設計が丁寧に行われている。

3. 日本における放射線管理

日本では、原子力基本法の下に、放射性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）*、労働安全衛生法の下に、電離放射線障害防止規則（電離則）が制定されている。（表面から10 cm離れた位置における最大線量率が0.6 mSv/hを超える）加速器は障防法で放射線発生装置とされ、シンクロトロンはこの適用を受ける。

Table 2に例示するように両ルールで微妙に異なっているが、1 MeV未満の放射光は電離則の適用を受けるのが

Table 2 Comparison of definitions between two rules.

	電 離 則	障 防 法
放射線発生装置	<p>(放射線装置室)</p> <p>第十五条 事業者は、次の装置又は機器（以下「放射線装置」という。）を設置するときは、専用の室（以下「放射線装置室」という。）を設け、その室内に設置しなければならない。ただし、その外側における外部放射線による一センチメートル線量当量率が二十マイクロシーベルト毎時を超えないように遮へいされた構造の放射線装置を設置する場合又は放射線装置を随時移動させて使用しなければならない場合その他放射線装置を放射線装置室内に設置することが、著しく、使用の目的を妨げ、若しくは作業の性質上困難である場合には、この限りでない。</p> <p>一 エックス線装置</p> <p>二 荷電粒子を加速する装置</p> <p>三 エックス線管若しくはケノトロンのガス抜き又はエックス線の発生を伴うこれらの検査を行う装置</p> <p>四 放射性物質を装備している機器</p> <p>2 事業者は、放射線装置室の入口に、その旨を明記した標識を掲げなければならない。</p> <p>3 第三条第四項の規定は、放射線装置室について準用する。</p>	<p>【障防法施行令】</p> <p>第二条 法第二条第四項に規定する政令で定める放射線発生装置は、次に掲げる装置（その表面から十センチメートル離れた位置における最大線量当量率が原子力規制委員会が定める線量当量率以下であるものを除く。）とする。</p> <p>一 サイクロトロン</p> <p>二 シンクロトロン</p> <p>三 シンクロサイクロトロン</p> <p>四 直線加速装置</p> <p>五 ベータトロン</p> <p>六 ファン・デ・グラーフ型加速装置</p> <p>七 コッククロフト・ワルトン型加速装置</p> <p>八 その他荷電粒子を加速することにより放射線を発生させる装置で、放射線障害の防止のため必要と認めて原子力規制委員会が指定するもの</p>
放射線	<p>第二条 この省令で「電離放射線」（以下「放射線」という。）とは、次の粒子線又は電磁波をいう。</p> <p>一 アルファ線、重陽子線及び陽子線</p> <p>二 ベータ線及び電子線</p> <p>三 中性子線</p> <p>四 ガンマ線及びエックス線</p>	<p>【核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令】</p> <p>第四条 原子力基本法第三条第五号の放射線は、次に掲げる電磁波又は粒子線とする。</p> <p>一 アルファ線、重陽子線、陽子線その他の重荷電粒子線及びベータ線</p> <p>二 中性子線</p> <p>三 ガンマ線及び特性エックス線（軌道電子捕獲に伴って発生する特性エックス線に限る。）</p> <p>四 一メガ電子ボルト以上のエネルギーを有する電子線及びエックス線</p>
放射線管理区域の管理	<p>第三条 放射線業務を行う事業の事業者（第六十二条を除き、以下「事業者」という。）は、次の各号のいずれかに該当する区域（以下「管理区域」という。）を標識によって明示しなければならない。</p> <p>一 外部放射線による実効線量と空気中の放射性物質による実効線量との合計が三月間につき一・三ミリシーベルトを超えるおそれのある区域</p> <p>二 放射性物質の表面密度が別表第三に掲げる限度の十分の一を超えるおそれのある区域</p>	<p>【施行規則】第十四条の七第一項</p> <p>法第六条第一号の規定による使用施設の位置、構造及び設備の技術上の基準は、次のとおりとする。</p> <p>八 管理区域の境界には、さくその他の人がみだりに立ち入らないようにするための施設を設けること。</p>

* 2019年秋に、法律名が、「放射性同位元素等の規制に関する法律」に変更される予定。

Fig. 1 Description on the radiation control of experimental hall by Prof. Kato.

放射光利用施設においては、日頃放射線業務従事者として管理されていない者も多数作業者として区域に入出入することが多い。外来者を含め、これらの人々の出入管理、被曝管理、作業管理、をどのように合理的に行うかは、放射線安全管理システム設計の重要な課題である。

遮蔽設計と放射線管理の間には、相補的な関係がある。即ち、放射線の遮蔽に力を注ぎ、人の立ち入る区域の放射線レベルを十分低くして、(管理区域とはせず)一般区域とするならば、放射線管理の業務は大幅に低減される。(中略)

遮蔽を強化し、放射線業務従事者の数をできるだけ小さなものにするというのは、一つの考え方であるが、このときには、入射モード時の人払いなど、出入管理に労力を要する。

Fig. 2 Kihatsu No. 253

放射線の照射中に労働者の身体の一部又は全部がその内部に入ることをないように遮へいされた構造の放射線装置等を使用する場合であって、放射線装置等の外側のいずれの箇所においても、実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないものについては、当該装置の外側には管理区域が存在しないものとして取り扱って差し支えないこと。ただし、その場合であっても、装置の内部には管理区域が存在するので、第1項の「標識によって明示」することは必要であること。

ア エックス線照射ボックス付エックス線装置であって、外側での実効線量が3月間につき1.3ミリシーベルトを超えないように遮へいされた照射ボックスの扉が閉じられた状態でなければエックス線が照射されないようなインターロックを有し、当該インターロックを労働者が容易に解除することができないような構造のもの (以下略)

適当とも思える。ICRPの勧告を受けて電離則が改正されるなど、日本における考え方も基本的には世界と同様である。日本の法律では、「実効線量が3月間につき1.3 mSvを超えるおそれのある区域」は放射線管理区域とすることが定められており⁵⁾、ICRP勧告による公衆被ばくの上限の勧告値(1 mSv/y)よりも緩いとも言える。

実験ホールを非管理区域とする考えが日本に無かったかという点、そうでもなく、1990年に出版された「加速器放射線防護の現状」⁶⁾には、Fig. 1に記す記述が見られる。ただ、当時は放射光利用実験が未だ特殊なものと考えられていたためか、これが大きな問題として議論された記憶はない。

世界の第三世代放射光施設では、top-up入射も定常化し、入射時の放射線レベルも十分に低く抑えられ、1 mSv/y以下を実現している。APSではtop-up入射より高い放射線の発生が予想されるswap-out入射をしても同様の放射線管理をする計画である。実験ホールの放射線レベルが十分に下がったとして、ビームが出ているときの実験ハッチ内の放射線レベルが上昇することは間違いない。インターロックにより、ビームが出ている時に人はハッチ内に立ち入れないようにしているが、シャッターを閉じた時に、放射線業務従事者でないユーザーが立ち入ることが出来るかどうかは法解釈上の課題となろう。市販のX線実験装置の多くは放射線業務従事者とならずに利用出来る⁷⁾。この裏付けは、厚生労働省労働基準局長からの通達(基発第253号、Fig. 2)⁸⁾であり、ホールに電離則が適用されることになれば、実験ハッチについても同様の考え方を採れるだろう。また、ビームラインの中は放射光が通っており、安全を確保するための管理が必要であることは自明である。障防法と電離則で、管理区域に対する要求に異なる点もあり、両ルールの適用境界を明確にすることも必要になろう。

4. 今後へむけて

仮に日本でも、実験ホールを一般区域に変更しようとする

ると、以下のことが必要になると考えている。

1. ホール内のどの場所でも、3月間につき1.3 mSv、出来れば年1 mSvを超えないことを担保すること。それを担保するために線量計・インターロック等を設置すること。
2. 障防法と電離則の適用範囲を明確にする必要がある。シールド壁を境界とし、壁内が障防法、外が電離則とするのが論理的にクリアだろう。
3. ビームラインについても、基発第253号と同様に、非照射時の装置内(実験ハッチ内)を非管理区域と認められること。軟X線実験等で、実験ハッチがない時の扱いを定める必要がある。
4. ビームラインと実験ホールの放射線管理上の境界を明確にする必要がある。ビームラインハッチが設けられていれば、その内側を管理区域、外は一般区域と区別しやすいが、ないときのルールを定める必要がある。また、「エックス線」の法的定義も明確にする必要がある*。
5. RIや核燃料物質、核原料物質を試料とする研究への対応を立てる必要があり、施設側とユーザーの間で十分な相談が必要となろう。
6. 障防法と電離則の適用境界など各施設が統一的な考え方を採り、後は線量で判断すべきである。

世界中のほぼ全ての第三世代放射光施設では実験ホールを放射線管理区域としないように設計・運用されており、被曝線量が十分に低ければ、放射線業務従事者となる必然性は低い。特に放射光は一人当たりの滞在時間は限られているが、多分野の多くの研究者に利用されており、放射線業務従事者となることは、他の研究手法と比較して、利用に当たっての障壁ともなりうる。管理区域でなくなれば、

* 法令中に「エックス線」という用語は出てくるが、その定義は見当たらない。英国の規制では、電離放射線は $\lambda \leq 100 \text{ nm}$ か $f \geq 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$ で直接的、間接的にエネルギーを移動するものとされている。

実習や試行実験なども容易になろう。放射線管理は世界的に ICRP の勧告に基づいて行われており、日本だけが出来ない理由は無いはずである。諸外国の事例を学びながら、より容易に研究成果を上げられるように、施設側、利用者側、行政側が力を合わせて、サステナブルな “Large facility for small science”⁹⁾を実現する仕組みを作る必要がある。

参考文献

- 1) Hee-Seock Lee, “Radsynch2017 Questionnaire and Survey Results” in Ninth International Workshop on Radiation Safety at Synchrotron Radiation Sources April 19–21, 2017, NSRRC, Hsinchu, Taiwan Proceedings”.
- 2) 銚日本アイソトープ協会, 「ICRP Publication 60 国際放射線防護委員会の1990年勧告」.
- 3) “ESRF Foundation Phase Report” (Feb, 1987), (CVII-554).
- 4) P. Berkvens et al., proceedings of RADSYNCH2017, p.6.
- 5) 放射線障害防止規則第一条に基づく「数量告示」第四条, 電離則第三条.
- 6) 加藤和明, 「放射光利用施設」, 加速器放射線防護研究専門委員会 日本保健物理学会編, 「加速器放射線防護の現状」, 日本保健物理学会, 1990年4月, p. 37.
- 7) 中井泉編, 「蛍光 X 線分析の実際 第2版」の「17章 法令と届出」, 朝倉書店 (2016).
- 8) 厚生労働省労働基準局長 基発第253号「労働安全衛生規則及び電離放射線障害防止規則の一部を改正する法令の施行等について」, 平成13年3月30日.
- 9) 松下正: 波紋 11, 1 (2001).