



JAEA-Review

2024-028

DOI:10.11484/jaea-review-2024-028

## 表面汚染密度に関する日英法令の比較研究

Comparative Study of Japan and UK Regulations on Surface Contamination Density

辻村 憲雄

Norio TSUJIMURA

核燃料サイクル工学研究所

放射線管理部

Radiation Protection Department

Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories

July 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課  
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).  
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.  
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan  
E-mail: [ird-support@jaea.go.jp](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

## 表面汚染密度に関する日英法令の比較研究

日本原子力研究開発機構  
核燃料サイクル工学研究所 放射線管理部

辻村 憲雄

(2024年4月25日受理)

放射性表面汚染に関してわが国の法令で現在定められている表面密度限度（ $\alpha$ 放出核種に対して  $4 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta/\gamma$ 放出核種に対して  $40 \text{ Bq/cm}^2$ ）は、1950年代から1960年代にかけて英国原子力公社（UKAEA）の Dunster によって研究された誘導実用限度に基づくとされる。この誘導実用限度は日英両国でほぼ同じ時期に法令に取り入れられたが、それ以来、わが国では規制内容がほとんど変わらなかったのに対し、英国では過去数十年の間に幾度となく変更が加えられた。英国の最新の法令にあつては、表面密度に関する具体的な数値の要求は一切無く、原子力事業所は自らの管理基準を定めるなど自主的な対応をとることとされている。本報告書は、表面密度に関する日英法規制の違いをその歴史的な変遷も含めて詳らかにしつつ、わが国における今後の規制の在り方について検討するための基礎資料として整理したものである。

## Comparative Study of Japan and UK Regulations on Surface Contamination Density

Norio TSUJIMURA

Radiation Protection Department  
Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 25, 2024)

The surface density limits currently set by Japan's regulations for radioactive surface contamination, 4 Bq/cm<sup>2</sup> for  $\alpha$ -emitting radionuclides and 40 Bq/cm<sup>2</sup> for  $\beta/\gamma$ -emitting radionuclides, are based on the derived working limits studied by Dunster of the UKAEA in the 1950s and 1960s. This derived working limit was introduced into Japan's and the UK's legislation at about the same time. Since then, however, the regulatory content in Japan has remained almost unchanged, while in the UK it has been amended several times over the past few decades. The most recent UK legislation does not include specific numerical requirements for surface contamination density; therefore, nuclear operators are now taking voluntary measures such as setting their radiological control standards for surface contamination. This report provides primary reference material for discussing Japan's future regulatory framework for surface contamination density, including the historical evolution of the differences between Japan's and the UK's regulations.

Keywords: Radioactive Surface Contamination, Regulations, Surface Density Limits, Derived Working Limits

目 次

1. 緒言	1
2. 日本の法令	1
3. 英国の法令	4
4. 議論	8
4.1 ICRP 勧告と英国の法規制の変遷について	8
4.2 平均化面積と放射能について	10
4.3 核種毎の規制について	13
4.4 まとめ	14
5. 結言	15
参考文献	17

Contents

1. Introduction	1
2. Regulations of Japan	1
3. Regulations of the United Kingdom	4
4. Discussion	8
4.1 Changes in ICRP recommendations and UK regulations regarding surface contamination monitoring	8
4.2 Averaging areas and radioactivity	10
4.3 Regulations by each radionuclide	13
4.4 Summary	14
5. Conclusion	15
References	17

表リスト

表 1	ICRP Publ. 12, 35 及び 75 (日本語版) から表面汚染モニタリング関連箇所の比較	10
表 2	表面密度 4 Bq/cm <sup>2</sup> の <sup>241</sup> Am の吸入による実効線量の試算結果	13
表 3	日英両国の放射性表面汚染に係る法規制の歴史的変遷	15

図リスト

図 1	1957 年の英国の規制等における汚染の許容レベル	5
図 2	1968 年の英国の規制における表面汚染の最大許容レベル	7
図 3	1985 年の英国の規制における管理区域設定のための表面密度 (第 4 列)	8

List of Tables

Table 1	Comparison of paragraphs related to surface contamination monitoring taken from ICRP Publications 12, 35, and 75 (Japanese version)	10
Table 2	Estimated effective dose due to inhalation of <sup>241</sup> Am with a surface density of 4 Bq/cm <sup>2</sup>	13
Table 3	Historical changes in Japanese and British regulations regarding radioactive surface contamination	15

List of Figures

Fig. 1	Permissible levels of contamination in the UK Code of Practice in 1957	5
Fig. 2	Maximum permissible levels of contamination in the UK regulation in 1968	7
Fig. 3	Surface contamination density for demarcation of controlled areas in the UK regulation in 1985	8

## 1. 緒言

放射性表面汚染に関して現在法令で定められている表面密度限度 ( $\alpha$  放出核種に対して 4 Bq/cm<sup>2</sup>,  $\beta/\gamma$  放出核種に対して 40 Bq/cm<sup>2</sup>) は, その呼称や単位に多少の歴史的な変遷はあれども, 1960 年から継続して適用されている。これらの数値は, 英国原子力公社 (UKAEA) の Dunster によって研究された表面密度の誘導実用限度 (derived working limit) <sup>[1-4]</sup> に基づくと言われている<sup>[5,6]</sup>。ここで誘導実用限度とは, UKAEA の当時の定義<sup>[7]</sup>によれば「線量限度から導き出された限度であり, それを遵守することによって関連する線量限度の遵守が事実上確実となる」放射線管理のための数値である。Dunster は, 離れた線源や皮膚に接触した線源からの外部被ばく, 吸入や経口摂取などからの内部被ばくといった様々な曝露シナリオと作業員の線量限度からそれを導出した。

Dunster によって算出されたこれらの数値<sup>1</sup>は, 1950 年代後半には, 英国を含む欧州のいくつかの国々で法令等に取り入れられており<sup>[8]</sup>, おそらくわが国も当時それに倣ったものと推察される。その後, わが国の法令は国際放射線防護委員会 (ICRP) の 1977 年勧告<sup>[9]</sup>及び 1990 年勧告<sup>[10]</sup>等を受けて幾度か改定されたが, 表面密度限度についての変更はない。また現在, 放射線審議会においてもその変更に関する議論は特に行われていないようである。こうした一方で, 表面密度に係る規制についてわが国と出発点をほぼ等しくする英国では, 過去数十年の間に, その規制の内容は大きく様変わりした。例えば, 最新の法令にあっては, 表面密度に関する具体的な数値の指定は一切無く, 事業者が管理基準を定めるなど自主的な対応をとることとされている。

本報告書は, 表面密度に関する日英法規制の違いをその歴史的な変遷も含めて詳らかにしつつ, わが国における今後の規制の在り方について検討するための基礎資料として整理することを目的とする。

本報告書は全部で 5 つの章からなる。第 1 章は緒言である。第 2 章, 第 3 章でそれぞれ日本と英国の法令について述べる。第 4 章でこれら法令について比較, 考察する。第 5 章は結言である。

## 2. 日本の法令

### (1) 昭和 33 (1958) 年の法令

放射性同位元素の表面密度に係るわが国最初の法令は, 昭和 33 (1958) 年の「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施行規則」である。その第 8 条第七項は, 「作業室又は管理室内の人の触れるものの放射性同位元素の表面濃度は, その表面の放射性同位元素による汚染を除去し, 又はその触れるものを廃棄することにより, 科学技術庁長

---

<sup>1</sup> Dunster の論文については次の詳細な解説がある。佐々木道也, 木村建貴, 表面汚染の基準導出におけるシナリオとパラメータの調査, 保健物理, 58 (4), 209–219 (2023)。

官の定める許容表面濃度（以下「最大許容表面濃度」という。）をこえないようにすること」、また、同条第十項は、「放射性同位元素によって汚染された物で、その放射性同位元素の表面濃度が最大許容表面濃度をこえているものは、みだりに作業室から持ち出さないこと」と規定する。ここで、最大許容表面濃度は、同年の「放射線を放出する同位元素の数量等を定める件」の第9条及び別表第四で与えられ、Pu, Ra, Ac 及び Po といったα線を放出する核種については、 $10^{-5} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $0.4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ )、Pu, Ra, Ac 及び Po 以外の核種については、 $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ ) であった。なお、同告示に定める最大許容週線量（第8条）及び最大許容空気中濃度（第5条）の1/10を超える場所には、人の立ち入り制限のために境界柵等を設けることとされていたが、本報告書の主題である表面密度はそれに関連付けられていなかった。関係箇所を以下に抜粋する（下線は報告者による）。

- ・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施行規則（昭和33年3月31日公布総理府令第21号）

第8条（使用の基準）

七 作業室又は管理室内の人の触れるものの放射性同位元素の表面濃度は、その表面の放射性同位元素による汚染を除去し、又はその触れるものを廃棄することにより、科学技術庁長官の定める許容表面濃度（以下「最大許容表面濃度」という。）をこえないようにすること。

十 放射性同位元素によって汚染された物で、その放射性同位元素の表面濃度が最大許容表面濃度をこえているものは、みだりに作業室から持ち出さないこと。

- ・放射線を放出する同位元素の数量等を定める件（昭和33年3月31日科学技術庁告示第4号）

第9条（最大許容表面濃度）

規則第8条第七号に規定する許容表面濃度は、別表第四のとおりとする。

別表第四 許容表面濃度

放射性物質の種類	許容表面濃度 ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )
Pu, Ra, Ac, Po	$10^{-5}$
Pu, Ra, Ac, Po 以外の放射性物質	$10^{-4}$

(2) 昭和35（1960）年の法令

昭和35（1960）年のこれら法令の改訂では、「最大許容表面濃度」は「最大許容表面密度」に名称が変更され、α線を放出する核種について  $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ )、α線を放出しない核種について  $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ ) と、従来の10倍の数値に変更された。これは、新たに導入された「管理区域」の設定要件に表面密度を追加するにあたって、許容される数値の1/10をその条件とするという従前の考え方を、表面密度にも適用しやすくすることを目的としたものだったと考えられる。また、最大許容表面密度の1/10は、管理区域外に持ち出す物の表面密度にも適用されることになった。関係箇所を以下に抜粋する（下線は



報告者による)。

- ・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施行令（昭和 35 年 9 月 30 日 公布政令第 259 号）

第 11 条（管理区域等の定義）

四 管理区域 外部放射線の放射線量が科学技術庁長官が定める許容線量をこえ、空气中若しくは水中の放射性同位元素の濃度が科学技術庁長官が定める許容濃度をこえ、又は放射性同位元素によって汚染される物の表面の放射性同位元素の密度が科学技術庁長官が定める許容密度をこえるおそれのある場所

- ・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施行規則（昭和 35 年 9 月 30 日 公布総理府令第 56 号）

第 15 条（使用の基準）

六 作業室又は汚染検査室内の人が触れる物の表面の放射性同位元素の密度は、その表面の放射性同位元素による汚染を除去し、又はその触れる物を廃棄することにより、最大許容表面密度をこえないようにすること。

九 放射性同位元素によって汚染された物で、その表面の放射性同位元素の密度が最大許容表面密度をこえているものは、みだりに作業室から持ち出さないこと。

十 放射性同位元素によって汚染された物で、その表面の放射性同位元素の密度が科学技術庁長官が定める許容密度をこえているものは、みだりに管理区域から持ち出さないこと。

- ・放射線を放出する同位元素の数量等を定める告示（昭和 35 年科学技術庁告示第 22 号）

第 4 条（管理区域に係る許容線量等）

令第 11 条第四号に規定する管理区域に係る許容線量、許容濃度及び許容密度は、次のとおりとする。

三 放射性同位元素によって汚染される物の表面の放射性同位元素の許容密度については、第 8 条に規定する密度の 10 分の 1

第 8 条（最大許容表面密度）

規則第 1 条第八号に規定する人が触れる物の表面の放射性同位元素の許容密度は、別表第 4の左の欄に掲げる放射性同位元素の区分に応じてそれぞれ右の欄に掲げる密度とする。

第 9 条（管理区域から持ち出す物に係る表面の放射性同位元素の許容密度）

規則第 15 条第十号及び規則第 17 条第 1 項第七号に規定する放射性同位元素によって汚染された物の表面の放射性同位元素の許容密度は、前条に規定する密度の 10 分の 1とする。

別表第 4 最大許容表面密度

区分	許容密度 (μCi/cm <sup>2</sup> )
アルファ線を放出する放射線同位元素	10 <sup>-4</sup>
アルファ線を放出しない放射性同位元素	10 <sup>-3</sup>

### (3) 現在の法令

ICRP1977 年勧告 (ICRP Publ. 26)<sup>[9]</sup>の取入れによる関係法令の大幅な改定が昭和 63 (1988) 年に行われたが、表面密度については、単位が Ci から Bq に変更されたのみで従来と同じ数値が「表面密度限度」として引き続き適用された。この改定に合わせて原子力安全研究協会から発行された解説書「国際放射線防護委員会 1977 年勧告の法令取入れについて (法令改正に関する質問に答えて)」<sup>[11]</sup>の参考資料 4「放射線審議会意見具申と障害防止関連法令の改正案との比較」によると、空气中濃度等の値については、古い ICRP 勧告に替わって「ICRP Publ. 30 に示されている年摂取限度 (ALI) 又は誘導空气中濃度 (DAC) をもとに算出」との説明があるものの、表面密度については何ら言及もない。また、同じく 1988 年に原子力安全技術センターから発行された「放射性表面汚染の測定・評価マニュアル」<sup>[5]</sup>には、「表面密度限度の誘導」(35～37 頁) について説明があり、その中で 1962 年の Dunster の論文<sup>[6]</sup>を紹介しつつ、わが国の法規制と同じ表面密度限度が導出されていること、さらに、その数値が十分に広い汚染面積を前提にしているなど、大きな安全係数を持っていることを述べている。このことも、ICRP Publ. 26 及び ICRP Publ. 30<sup>[12]</sup>に基づいて表面密度の誘導限度を再計算する (そして変更する) までの必要はないと当時考えられていたことを示すものであろう。また、ICRP1990 年勧告 (ICRP Publ. 60)<sup>[10]</sup>の法令取入れに際しても表面密度限度は特に再評価されることはなく、従来の数値がそのまま引き続き使用された。

## 3. 英国の法令

Dunster<sup>[1]</sup>によれば、1950 年代中頃の英国では、「ほとんどの研究所では、(非密封の放射性物質が取り扱われる) アクティブ区域における表面汚染の許容レベルを独自に設定しており、非アクティブ区域における表面汚染の許容レベルの数値を提示しているところは少ない」という状況にあった。法令等の中に表面密度が現れるのは 1950 年代後半からで、放射性物質法 (Radioactive Substances Act 1948) の下で設置された放射性物質諮問委員会 (Radioactive Substances Advisory Committee) が作成した Code of Practice<sup>2</sup>が最初である。これに続いて、工場法 (Factories Act 1961) に基づく規則である The Ionising Radiations (Sealed Sources) Regulations と The Ionising Radiations (Unsealed Radioactive Substances) Regulations が 1960 年代に、さらに、労働安全衛生法 (Health and Safety at Work etc. Act 1974) に基づく規則 Ionising Radiations Regulations が 1980 年代に制定された[13]。本章ではこれらのうち表面密度に関連する内容を中心に以下に解説する。

<sup>2</sup> 規則というよりは勧告をとりまとめたガイドに近い。なお、Code of Practice には「実施規範」や「実務規定」といった訳語がある。

(1) Code of practice for the protection of persons exposed to ionizing radiations, 1957<sup>[14]</sup>

本 Code of Practice の Part B, Section 9.3 「除染手順」において、表面汚染の許容レベル (permissible levels) が定められている (図 1)。それによれば、防護衣の表面やアクティブ区域内では、 $\alpha$  放出核種について  $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ ) 及び  $\beta$  放出核種について  $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ ) を、身体表面や私服、さらにアクティブ区域外では、それらの数値の 1/10 を超える表面汚染がある場合、除染することとされている。なお、これらの表面密度は区域の区分や設定の要件にはされていない。

Class of radioactive isotope	SITE	
	Parts of body; personal clothing; hospital bedding; "inactive" areas	Protective clothing; active laboratories; glassware; tools
1. (Very high toxicity)	$\alpha$ -emitters: $10^{-5} \mu\text{C}/\text{cm}^2$ $\beta$ -emitters: $10^{-4} \mu\text{C}/\text{cm}^2$	$\alpha$ -emitters: $10^{-4} \mu\text{C}/\text{cm}^2$ $\beta$ -emitters: $10^{-3} \mu\text{C}/\text{cm}^2$
2. (High toxicity)	} $10^{-4} \mu\text{C}/\text{cm}^2$	$10^{-3} \mu\text{C}/\text{cm}^2$
3. (Moderate toxicity)		
4. (Slight toxicity)		

図 1 1957 年の英国の規制等における汚染の許容レベル

(出典 : TABLE III, Permissible levels of contamination, Code of practice for the protection of persons exposed to ionizing radiations, 1957<sup>[14]</sup>)

注 : 放射性同位元素の区分のうちクラス 1 (非常に高い毒性) には, Sr-90, Y-90, Pb-210, Bi-210, Po-210, At-211, Ra-226, Ac-227, U-233, Pu-239, Am-241, Cm-242 が含まれる。

この Code of Practice は、1964 年に改訂及び改題 (Code of practice for the protection of persons against ionizing radiations arising from medical and dental use, 1964<sup>[15]</sup>) された。表面汚染は、Section 5.7 「除染手順」に記述されており、「許容レベル」が「最大許容レベル」(Maximum permissible levels of contamination) に名称変更されたが、その数値は従来のものでそのまま引き継がれた。ただし、「(測定の結果は、身体の一部については  $100 \text{ cm}^2$  を超えない面積 (手の場合は  $300 \text{ cm}^2$ )、床、壁及び天井については  $1,000 \text{ cm}^2$  を超えない面積、その他の場合は  $300 \text{ cm}^2$  を超えない面積にわたって平均してよい」とする条件が新たに追加された。この平均化面積は、Dunster が 1962 年の論文<sup>[3]</sup>で提示した面積、すなわち「一般的な無生物 (物) の表面は  $300 \text{ cm}^2$ 、床、壁、天井などの表面は  $1,000 \text{ cm}^2$ 、皮膚は  $100 \text{ cm}^2$  の範囲で平均化を容認すれば問題は生じない」、「手の場合は特殊で、片手全体 (約  $300 \text{ cm}^2$ ) で平均化することも可能である」と同じである。なお、このうち物についての平均化面積 ( $300 \text{ cm}^2$ ) は、国際原子力機関 (IAEA) の輸送規則<sup>[16,17]</sup>で適用さ

れている平均化面積に等しい<sup>3</sup>。

## (2) The Ionising Radiations (Unsealed Radioactive Substances) Regulations 1968 <sup>[18]</sup>

本規則 IR(URS)R は、密封されていない放射性物質を対象としており、7年前に先んじて制定された密封線源を対象とする規則<sup>[19]</sup>とともに、後述する 1985 年制定規則の基礎となった。

この規則の別表 2 (Maximum permissible levels of contamination of surfaces) を図 2 として示す。核種は 1957 年の Code of Practice <sup>[14]</sup> とほぼ同じであり、毒性の高い  $\alpha$  放出核種、毒性の低い  $\alpha$  放出核種、それ以外の核種に区分されている。一方、適用範囲は、区分 A (フード内等)、区分 B (アクティブ区域内)、区分 C (身体表面) 及び区分 D (その他・非アクティブ区域) の 4 つに細分され、このうち「合理的に実行しうる限り (汚染を) 最小にすること」とされている区分 A (フード内等) を除き、1957 年及び 1964 年の Code of Practice と同じ表面密度の最大許容レベル、すなわちアクティブ区域内では  $\alpha$  放出核種に対して  $10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ )、 $\beta/\gamma$  放出核種 (毒性の低い  $\alpha$  放出核種を含む) に対して  $10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  ( $40 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ )、身体表面及び非アクティブ区域ではそれらの 1/10 が適用されている。また、平均化面積も従来と同じで、床・壁・天井:  $1,000 \text{ cm}^2$ 、物の表面:  $300 \text{ cm}^2$ 、身体表面:  $100 \text{ cm}^2$  (手は  $300 \text{ cm}^2$ ) である。これらは、それぞれの区分での除染の要件でもあるが、そのうち区分 D に指定されたレベル ( $\alpha$  放出核種:  $0.4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ 、 $\beta/\gamma$  放出核種:  $4 \text{ Bq}/\text{cm}^2$ ) はアクティブ区域の設定要件の一つでもあった<sup>4</sup>。本規則は、除染と区域設定の両方に表面密度が関連付けられているという点で、わが国の法令にもっとも似ている。

加えて、本規則では、表面密度に関する規制とは別に、第 7 条 (事故の通報) において、放射性物質の漏れ (a spill or other accidental escape) が発生したときの規制当局への通報基準として、その放射エネルギー (例えばクラス 1 区分の核種であれば  $100 \mu\text{Ci}$  ( $3.7 \text{ MBq}$ ) <sup>5</sup>) が規定された。これは、密封線源を対象とする別の規則<sup>[19]</sup>において、密封線源が破損した場合に通報することが定められていたので、考え方を揃えたものだったと考えられる。

<sup>3</sup> 文献[17]での Fairbairn (UKAEA) の解説によれば、IAEA 輸送規則<sup>[16]</sup>に定められた表面密度や平均化面積等は、UKAEA の考え方に基づいたものだという。

<sup>4</sup> 空气中濃度もアクティブ区域設定のための要件であったが、本規則では空气中濃度の数値は特に指定されていない。なお、アクティブ区域とは別に、外部被ばくによる線量率に基づく放射線区域 (Radiation area) という区域区分がある。例えば、密封線源のみを取り扱う施設では放射線区域だけが設定される。アクティブ区域と放射線区域は、1985 年に制定された規則で管理区域に統合された。

<sup>5</sup>  $3.7 \text{ MBq}$  はわが国のかつての下限数量 (密封線源) に等しい。

Category	Surface	Maximum Permissible Level ( $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$ )		
A	Surfaces of the interiors and contents of total enclosures and fume cupboards.	The minimum that is reasonably practicable.		
B	Surfaces (other than surfaces in category A) of active areas and plant, apparatus, equipment (including personal protective equipment), materials and articles within active areas.	From alpha emitters		From emitters other than those specified in the preceding two columns
		In Class I of the Table in Schedule 3 to these Regulations	In Class II-IV	
		$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$
C	Surfaces of the body	$10^{-5}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$
D	All other surfaces	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-4}$

図2 1968年の英国の規制における表面汚染の最大許容レベル

(出典：Schedule 2, The maximum permissible levels of contamination of surfaces, The Ionising Radiations (Unsealed Radioactive Substances) Regulations 1968 [18])

(3) Ionising Radiations Regulations 1985 (IRR1985) [20]

ICRP1977年勧告と当時の最新の欧州指令を反映することを目的に1985年10月に新たに制定されたこの規則は、以前の工場法規則に代わるもので、ただし重要な相違点は、作業中に電離放射線に曝されるすべての状況に適用されることである。そのため、以前は法定外(non-statutory)のCode of Practiceに従うことが期待されていた病院や教育機関などを含む広範な組織を管理下に置くものでもある。

本規則IRR1985では、表面密度は除染等ではなく、管理区域の設定要件としてのみ規定されている。第8条及び別表6では、指定された線量率、空气中濃度又は表面密度を超える、または超える恐れがあるところを管理区域として設定することとしており、そのうち、表面密度については、別表2(Quantities of Radionuclides)の第4列(Surface contamination)に具体的な数値が核種毎に指定されている(図3)。これは、ICRP1977年勧告の実効線量当量限度に基づき、様々な曝露シナリオについて再評価されたその誘導実用限度[21,22]のうち、経口摂取シナリオに基づいたもの(例えば、 $^{241}\text{Am}$  :  $6\text{ Bq}/\text{cm}^2$ ,  $^{210}\text{Pb}$  :  $20\text{ Bq}/\text{cm}^2$ )である。平均化面積は、床  $1,000\text{ cm}^2$ , 物品  $300\text{ cm}^2$  であり、従前の値がそのまま踏襲されている。また、同表第3列(Air concentration)にはDACに相当する空气中放射能濃度も指定されており、吸入シナリオに基づいて管理区域を設定する際に使用される。一方、除染については特に言及はなく、本規則のガイドに相当するApproved Code of



Practice (以下, ACOP と略す) [23]によれば, 作業環境として許容できる汚染レベル(level of contamination specified as acceptable)は特に定めず, 第6条(2)の as far as reasonably available 要求を満足する最小の汚染レベルを達成することを目指すべきであるとし, 事業者が適切な数値を設定することを求めている。

**SCHEDULE 2** **Regulations 2(5), 26(1), 27(5)(a) and (6) and 31(1) and (2).**

**QUANTITIES OF RADIONUCLIDES**

**PART I**

**TABLE OF RADIONUCLIDES**

1 Radionuclide name, symbol, isotope.	2 Quantity for notification. Regulation 31(2) and Schedule 3(b) (Bq)	For Controlled Areas (Internal Radiation)			6 Assessment report. Regulation 26(1) (Bq)	7 Notification of occurrences. Regulation 31(1) (Bq)
		3 Air concentration. Schedule 6 (Bq m <sup>-3</sup> )	4 Surface contamination. Schedule 6 (Bq cm <sup>-2</sup> )	5 Total activity. Schedule 6 (Bq)		
Actinium						
Ac-224	5 10 <sup>4</sup>	1 10 <sup>2</sup>	8 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>7</sup>	2 10 <sup>13</sup>	2 10 <sup>6</sup>
Ac-225	5 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>0</sup>	2 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>5</sup>	2 10 <sup>11</sup>	2 10 <sup>7</sup>
Ac-226	5 10 <sup>4</sup>	2 10 <sup>1</sup>	6 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>6</sup>	2 10 <sup>12</sup>	2 10 <sup>8</sup>
Ac-227	5 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	8 10 <sup>-1</sup>	2 10 <sup>2</sup>	2 10 <sup>8</sup>	2 10 <sup>3</sup>
Ac-228	5 10 <sup>4</sup>	3 10 <sup>1</sup>	1 10 <sup>4</sup>	4 10 <sup>6</sup>	2 10 <sup>12</sup>	2 10 <sup>8</sup>
Am-241	5 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>-2</sup>	6 10 <sup>0</sup>	2 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>9</sup>	2 10 <sup>6</sup>
Am-242m	5 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>-2</sup>	6 10 <sup>0</sup>	2 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>9</sup>	2 10 <sup>6</sup>
Am-242	5 10 <sup>4</sup>	3 10 <sup>2</sup>	2 10 <sup>4</sup>	3 10 <sup>7</sup>	2 10 <sup>13</sup>	2 10 <sup>10</sup>
Am-243	5 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>-2</sup>	6 10 <sup>0</sup>	2 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>9</sup>	2 10 <sup>6</sup>
Am-244m	5 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>4</sup>	2 10 <sup>2</sup>	1 10 <sup>8</sup>	2 10 <sup>13</sup>	2 10 <sup>10</sup>
Am-244	5 10 <sup>3</sup>	9 10 <sup>2</sup>	1 10 <sup>4</sup>	6 10 <sup>7</sup>	2 10 <sup>14</sup>	2 10 <sup>10</sup>
Am-245	5 10 <sup>4</sup>	3 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>5</sup>	1 10 <sup>10</sup>	2 10 <sup>16</sup>	2 10 <sup>10</sup>
Am-246m	5 10 <sup>4</sup>	9 10 <sup>2</sup>	2 10 <sup>3</sup>	2 10 <sup>10</sup>	2 10 <sup>17</sup>	2 10 <sup>10</sup>
Am-246	5 10 <sup>4</sup>	6 10 <sup>2</sup>	1 10 <sup>3</sup>	1 10 <sup>10</sup>	2 10 <sup>16</sup>	2 10 <sup>11</sup>

図3 1985年の英国の規制における管理区域設定のための表面密度 (第4列)  
(出典: Schedule 2, Ionising Radiation Regulations 1985 [20])

本規則は1999年に改訂 (IRR1999) された[24]。ここでは, 管理区域の設定条件は, 線量限度のある割合 (1/10 等) を超える又は超える恐れのあることに変更され, 本報告書の主題である表面密度にも, さらに空气中濃度にも特に関連付けられていない。このことは2017年の改定 (IRR2017) でも踏襲された[25]。

#### 4. 議 論

##### 4.1 ICRP 勧告と英国の法規制の変遷について

1957~1968年の英国の法令等では, 初期は表面汚染の許容レベル (permissible levels), 後に最大許容レベル (maximum permissible levels) という用語が使用されていた。これは, ICRP の言う最大許容線量 (maximum permissible dose) に語調を合わせた表現だったと考えられる。Dunster も1962年の論文[3]まではこれらの用語を使っていたが, 1964年頃から, 「その数値以下の表面汚染が作業者の過剰な被ばくの直接原因となることはほとんどない」との理由により, 最大許容線量を想起させる許容レベルに代わって誘導実用限度

(derived working limits) という用語を使用するようになった<sup>[4]</sup>。

一方、ICRP は、表面密度と作業者の被ばく線量との間に相関関係はないとして、表面密度の限度に相当する数値を勧告していなかったが、1969年のICRP Publ. 12<sup>[26]</sup>において、線量限度を基に適切に算出された誘導実用限度を管理の目的で利用することを提言し、その具体的な数値の参考例として1962年のIAEA Safety Series No.1, Safe Handling of Radioisotopes<sup>[8]</sup>を引用した<sup>6</sup>。その付録IIには、当時の規制の一例として、1957年のCode of Practice<sup>[14]</sup>の許容レベルが紹介されている。続いて、ICRP Publ. 12の改訂版であるICRP Publ. 35 (1982)<sup>[27]</sup>では、誘導実用限度は誘導限度 (derived limits) という用語に改められたものの、勧告の内容自体に変更はない。具体的な数値の参考として、IAEA Safety Series No.1の1973年改訂版<sup>[28]</sup>が引用され、ここでは1968年に研究教育機関向けに制定されたCode of Practice<sup>[29]</sup>の表が例示されている<sup>7</sup>。一方、1997年のICRP Publ. 75<sup>[30]</sup>では、勧告の骨子はICRP Publ. 12及びICRP Publ. 35と基本的に同じであるが、「ある定められたレベル」という語句は「参考レベル」に書き換えられ、そのレベルに相当するものとして与えられていた誘導実用限度又は誘導限度の説明並びにその具体的な数値の参考文献の例示はされなかった。ここで「参考レベル」は、ICRP Publ. 75 (パラグラフ 230) に基づけば、「操業管理者により設定され、これを超えた場合、その事業所での調査 (多くの場合、非常に簡単な) が必要」とされる「調査レベル」を意味すると考えられる。

第3章で述べたように、英国の規制においては、1960年代は区域設定や退出時のモニタリング、1985年からは区域設定を目的に表面密度や空气中濃度について具体的な数値が定められていたが、1999年の改定 (IRR1999) でその一切が撤廃された。その代わりに、改定に伴って同年に発行されたACOP<sup>[31]</sup>の中で、事業者が区域設定をする際に「適切な誘導実用レベル (derived working levels) または誘導空气中濃度 (derived air concentrations)」を、また十分な放射線モニタリングが行われているかどうかを確認するため「参考レベル (reference levels)<sup>8</sup>」を選択し、それを超えた場合取るべき措置」を必要に応じて設定することを勧告した。このような変更経緯は、上記のICRPの考え方の歴史的変遷にほぼ対応したものであったように見える<sup>9</sup>。なお、英国の原子力事業者の多くは、管理区域からの退

<sup>6</sup> Dunster は ICRP 勧告の適用に関する専門委員会 4 のメンバーであり、本勧告を作成するにあたり委員長を務めた。

<sup>7</sup> この Code of Practice<sup>[29]</sup>の表中では語句「最大許容レベル (Maximum permissible level)」が使用されていたが、IAEA Safety Guide No.1 の1973年改訂版<sup>[28]</sup>に再録するにあたり、当該箇所が「誘導実用限度 (Derived working limits)」に書き換えられている。なお、この Code of Practice の表は同年に制定された IR(URS)R の表と同じ内容である。

<sup>8</sup> 2017年に改訂されたACOP<sup>[32]</sup>では、reference levels は safe working levels という用語に変更された。

<sup>9</sup> ICRP 勧告以外では、1970年に発行されたIAEA Technical Report Series No. 120, Monitoring of radioactive contamination of surfaces<sup>[36]</sup>の中で、誘導実用限度について、“The derived working levels are guide lines to which to work, and should be used as such, rather than as hard and fast rules which must be adhered to at all costs.” (訳：誘導実用レベルは、作業を行うためのガイドラインであり、何としても遵守しなければならない堅苦しいルールではないものとして使用すべきである) と述べられている。本レポートの著者はUKAEAのClaytonであり、こうした考えも英国の法改正に反映されていったと推察される。

出管理等において、 $\alpha$  放出核種に対して  $0.4 \text{ Bq/cm}^2$ 、 $\beta$  放出核種に対して  $4 \text{ Bq/cm}^2$  を自主的に設定した誘導実用レベルとして現在も引き続き適用している<sup>[33-35]</sup>。

表 1 ICRP Publ. 12, 35 及び 75（日本語版）から表面汚染モニタリング関連箇所の比較  
（下線は報告者による）

ICRP 12 (1969)	ICRP 35 (1982)	ICRP 75 (1997)
(49) 経験上、作業場の表面汚染と作業者の被曝の間には必ずしも相関関係はないことがわかっている。しかしながら、 <u>ある定められたレベル以上の表面汚染が存在しない</u> ということは、通常一次封じこめが高い技術水準にあることを示し、また <u>そのレベルが適切に選択されている</u> 場合には、作業者の日常的な体内汚染はなく、したがって日常の空気モニタリングまたは体内汚染に対する個人モニタリングの必要性はないという強い確証を与えるものである。	(54) 経験上、作業場所の表面汚染と作業者の被曝の間には必ずしも相関関係はないことがわかっている。しかしながら、 <u>ある定められたレベル以上の表面汚染が存在しない</u> ということは、通常一次封じこめが高い技術水準にあることを示し、また、 <u>そのレベルが適切に選択されている</u> 場合には、作業者の異常な体内汚染はなく、したがって日常の空気モニタリングまたは体内汚染に対する個人モニタリングの必要性はないという強い確証を与えるものである。	(184) 経験上、作業場の表面汚染と作業者の被ばくの間には必ずしも直接の相関関係はないことが分かっている。しかしながら、 <u>ある定められた参考レベルを超える表面汚染が存在しない</u> ということは、通常、一次封じこめと管理が高い水準にあることを示し、また、 <u>参考レベルが適切に選択されている</u> 場合には、作業者の異常な内部汚染はなく、したがって日常の空気モニタリングまたは内部汚染に対する個人モニタリングの必要性はありそうにないという確証を与えるものであろう。
(56) 表面汚染と作業者の被曝との相関関係が悪いため、実用限度は委員会勧告から厳密に誘導することはできず、いくぶん任意に選択しなければならない。(中略) <u>通常用いられている誘導実用限度(DWL)の多くが (中略) IAEA の刊行物に記載されている。</u>	(61) 表面汚染と作業者の被曝との相関が弱いため、誘導限度を委員会勧告から厳密に決定することはできず、いくぶん任意に選択しなければならない。 <u>現在用いられている多数の誘導限度が (中略) 国際原子力機関により記載されている。</u>	(なし)

#### 4.2 平均化面積と放射能について

英国の場合、表面密度を算出する際の平均化面積を 1957 年の Code of Practice では特に指定していなかったが、1964 年のその改定版において、床・壁・天井： $1,000 \text{ cm}^2$ 、物の表面： $300 \text{ cm}^2$ 、身体表面： $100 \text{ cm}^2$ （手は  $300 \text{ cm}^2$ ）が指定された。この平均化面積は 1968



年の IR(URS)R において全面的に、さらに IRR1985 では部分的に引き継がれた。IRR1999 以降の規則では平均化面積は特に指定されていないが、英国の国家標準研究所である National Physical Laboratory が発行する放射線測定ガイド<sup>[37]</sup>では、「(直接測定の場合) 身体については 300 cm<sup>2</sup> 以下、その他は 1,000 cm<sup>2</sup> 以下で平均されるべきである」とある。また、管理区域外に搬出される物品等の表面汚染測定について原子力事業者らが共同で作成したマニュアル<sup>[34]</sup>においても、「表面汚染の値は、状況に適切な面積で平均化されるものとし、そのデフォルト値は、衣類や小物 (small items) で 100 cm<sup>2</sup>、大きな物 (larger items) で 300 cm<sup>2</sup>、床、壁、大型コンテナで 1,000 cm<sup>2</sup> とする」とされている。1960 年代から使用されている数値を引き継ぎつつも、詳細については事業者に裁量が委ねられたものとなっているようである。一方、わが国では、法令等の中で平均化面積を明確に指定したものは無い<sup>10</sup>。身体汚染については、1999 年に放射線審議会基本部会が作成した「外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針」<sup>[38]</sup>において「皮膚の汚染検査における平均面積については、ICRP Publ. 75 に示されているように、100 cm<sup>2</sup> (手の場合は、300 cm<sup>2</sup>) とする」との勧告がある。また、スミアろ紙を用いる間接測定では 100 cm<sup>2</sup> が一般に使用されているが、サーベイメータによる直接測定では特に決められた数字はなく、それゆえ、実際の汚染の広がりやの程度に関係なくサーベイメータの窓面積が最小の平均化面積として使用されることが多い。しかしながら、この場合、窓面積の異なるサーベイメータを使うと、同じ放射能であっても異なる表面密度が算出されることもありうるため不合理である。英国のように、測定手順の斉一化のためにある程度目安となる面積をあらかじめ決めておくことと便利であるという考え方はあろうし、また、そうしたルール化は、汚染をより検知しやすい (例えば大面積化した) サーベイメータを開発する際の設計指針としても有用であろう。

一方、測定ルールとしての平均化面積の導入は、表面密度 (Bq/cm<sup>2</sup>) × 面積 (cm<sup>2</sup>) から必然的に導かれる放射エネルギー (Bq) による規制が暗黙に求められることになる。例えば、平均化面積を 1,000 cm<sup>2</sup> とすると、表面密度限度 (4~40 Bq/cm<sup>2</sup>) から放射能 4~40 kBq が導出される<sup>11</sup>。Dunster は、4 Bq/cm<sup>2</sup> や 40 Bq/cm<sup>2</sup> などの誘導実用限度を導出した際の汚染面積について詳しく説明していないが、「1,000 cm<sup>2</sup> 程度の汚染は小さな面積の汚染であり、より広い場合に有意な (significant) 汚染になる」と述べている<sup>[7]</sup>。ここで「より広い」汚染とはどれだけの面積を想定していたのであろうか。外部被ばくによる線量の計算においては、無限に広がった表面汚染を想定していたと考えるのが自然である。一方、内部被ばくによる線量であるが、誘導実用限度の導出過程で空气中濃度を計算する際、Dunster は

<sup>10</sup> 「電離放射線障害防止規則の解説」(中央労働災害防止協会)、第 28 条 (放射性物質がこぼれたとき等の措置) の解説によると、「汚染された区域における汚染の測定については (中略) 100 cm<sup>2</sup> の範囲で平均した汚染密度で評価すること」とある。この説明は、ふき取り可能な汚染に対してスミア法を使用することを前提としているようなので、あまり広くない汚染に対して、その除染終了後の確認のための測定手順を指したものではないかと考えられる。

<sup>11</sup> これは法令に定める放射性同位元素の下限数量 (例えば <sup>241</sup>Am : 10 kBq, <sup>137</sup>Cs : 10 kBq) に近い数値である。

$2 \times 10^{-6} (\text{m}^{-1})$  の再浮遊係数を引用している。その出典論文<sup>[39]</sup>によれば、その再浮遊係数は床面積 10 フィート×10 フィート (約  $9 \text{ m}^2$ ) の区画での実験<sup>[12]</sup>に基づいたものであるので、ここで  $9 \text{ m}^2$  を丸めた  $10 \text{ m}^2 (= 10^5 \text{ cm}^2)$  の汚染面積が想定されていたと仮定すると、表面密度限度から、 $\alpha$  放射能：400 kBq、 $\beta/\gamma$  放射能：4,000 kBq が算出される<sup>[13]</sup>。

これらの放射エネルギーの汚染によってどれだけの被ばくが生じるか、また汚染の面積によってそれがどれだけ変化するかをここで試算してみよう。

- (i) 外部被ばく：代表的な  $\gamma$  放出核種として  $^{137}\text{Cs}$  ( $+^{137\text{m}}\text{Ba}$ ) を想定する。表面密度限度に相当する  $40 \text{ Bq/cm}^2$  ( $^{137}\text{Cs}$ ) の汚染が床に一様かつ無限に広がっていた場合、高さ 1 m における 1cm 線量当量率は、Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002<sup>[40]</sup>の換算係数 ( $2.4\text{E}-3 \text{ mSv/h for } 1 \text{ MBq/m}^2$ ) を用いて  $0.96 \mu\text{Sv/h}$ 、40 h での積算 1cm 線量当量は、 $38 \mu\text{Sv}$  と計算される<sup>[14]</sup>。線量限度に比べて極めて小さな値である。
- (ii) 内部被ばく：代表的な  $\alpha$  放出核種として  $^{241}\text{Am}$  (空気中濃度限度： $8\text{E}-7 \text{ Bq/cm}^3$ 、実効線量係数(吸入)： $2.7\text{E}-2 \text{ mSv/Bq}$ ) を想定する。計算の条件として、表面密度： $4 \text{ Bq/cm}^2$ 、再浮遊率 (単位時間あたりに表面から空中に浮遊する割合、ここでは中程度の活動による浮遊を想定)： $10^{-4} \text{ h}^{-1}$ <sup>[41]</sup>、部屋容積： $3 \times 10^7 (\text{cm}^3)$  (=床面積  $10 \text{ m}^2 \times$  高さ 3 m)、換気回数： $5 \text{ h}^{-1}$  とする。空気中濃度は、表面密度 ( $\text{Bq/cm}^2$ )  $\times$  汚染面積 ( $\text{cm}^2$ )  $\times$  再浮遊率 ( $\text{h}^{-1}$ )  $\div$  部屋容積 ( $\text{cm}^3$ )  $\div$  換気回数 ( $\text{h}^{-1}$ ) から計算される。作業者の呼吸量は  $1.2\text{E}+6 (\text{cm}^3/\text{h})$  とし、作業時間 1 h 及び 40 h における実効線量を、汚染面積  $1,000 \text{ cm}^2$  ( $4 \text{ kBq}$ ) 及び  $10^5 \text{ cm}^2$  ( $400 \text{ kBq}$ ) それぞれについて表 2 に示す。

部屋容積や換気回数によっても計算結果は多少変化するが、表面密度  $4 \text{ Bq/cm}^2$  の場合、汚染面積  $1,000 \text{ cm}^2$  の想定のもとで算出される実効線量は極めて小さい。また、汚染面積を  $10 \text{ m}^2$  とするような極端な想定であっても、計算される実効線量はその限度に比べて十分に小さい。なお、密閉空間 (屋内等) では、空気中濃度は表面密度ではなく放射エネルギーに比例することになるので、「表面密度  $4 \text{ Bq/cm}^2 \times$  汚染面積  $1,000 \text{ cm}^2$ 」のようなやや広がりのある汚染でも、「表面密度  $4,000 \text{ Bq/cm}^2 \times$  汚染面積  $1 \text{ cm}^2$ 」というスポット的な汚染であっても放射能はともに  $4 \text{ kBq}$  であり、したがって空気中濃度も実効線量の計算結

<sup>12</sup> 床面積  $9 \text{ m}^2$  のうち放射性物質を再浮遊させるために作業が行われた範囲の面積は 8 フィート×5 フィート (約  $3.6 \text{ m}^2$ ) である<sup>[38]</sup>。

<sup>13</sup> これは、原子力規制委員会の平成 25 年 12 月 18 日付け「使用済燃料の再処理の事業に関する規則第 19 条の 16 の運用について (訓令)」における「放射エネルギーが微量」の解釈、すなわち「漏えいした使用済燃料等が液体状のものについては、使用済燃料等の放射エネルギーとして、アルファ線を放出しない放射性物質で  $3.7 \times 10^6 \text{ Bq}$  を、アルファ線を放出する放射性物質で  $3.7 \times 10^5 \text{ Bq}$  を目安とし、これらを超えなかったときをいう」の放射エネルギーの数量と奇しくも合致する (下線は報告者による)。

<sup>14</sup> 無限に広がった場合ではなく、上述した面積 ( $1,000 \text{ cm}^2$  及び  $10 \text{ m}^2$ ) 内に一様分布した場合に相当する放射エネルギー、それぞれ  $40 \text{ kBq}$  と  $4,000 \text{ kBq}$ 、を持つ点線源を取り扱うとき (線源から距離 30 cm を想定) の 1cm 線量当量率は、上記 Handbook の換算係数  $1.03\text{E}-3 \text{ mSv/h for } 1 \text{ MBq}$  を用いて、それぞれ  $0.041 \mu\text{Sv/h}$ 、 $4.1 \mu\text{Sv/h}$ 、40 h の積算線量ではそれぞれ  $1.6 \mu\text{Sv}$ 、 $160 \mu\text{Sv}$  と計算される。

果も等しくなることに留意されたい。

表 2 表面密度 4 Bq/cm<sup>2</sup> の <sup>241</sup>Am の吸入による実効線量の試算結果

表面密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )	汚染面積 (cm <sup>2</sup> )	放射能 (kBq)	空气中濃度 (Bq/cm <sup>3</sup> )	作業時間 (h)	摂取量 (Bq)	実効線量 (mSv)
4	1,000	4	2.7E-9	1	3.2E-3	8.6E-5
				40	0.13	0.0035
4	10 <sup>5</sup>	400	2.7E-7	1	0.32	0.0086
				40	13	0.35

現在、施行規則第二十八条の三（事故等の報告）では、放射性同位元素等が管理区域内で漏えいしたときの報告について規定されているが、漏えいしたその放射エネルギーが「微量」の場合を除くとしている。しかしながら、「微量」がどれだけの放射能に相当するかについて明示されていない<sup>15</sup>。ここで上記計算結果に基づき、線量限度を十分に下回るという観点から、汚染面積 10 m<sup>2</sup> を仮定して表面密度限度から導出した放射能（ $\alpha$  : 400 kBq,  $\beta/\gamma$  : 4,000 kBq）を「微量」相当とすることも一つの解釈案であるように思われる。なお、前述したように、英国の法規制では、1968 年の IR(URS)R の第 7 条（事故の通報）において、放射性物質の漏れが生じたときの通報基準として、例えばクラス 1 区分の核種であれば 100  $\mu$ Ci (3.7 MBq) が規定された。この数値の算出経緯は不明であるが、上述した計算と同じようなロジックで導出されたとも考えられる。この通報基準の考え方は IR(URS)R 以降も継続され、IRR1985 では第 31 条（特定の事象の通報）において、図 3 として示した同規則の別表 2 第 7 列（Notification of occurrences）に核種毎に具体的な数値（例えば <sup>241</sup>Am であれば  $2 \times 10^6$  Bq）が指定された。同じように、IRR1999 では第 30 条及び別表 8 に、IRR2017 では第 31 条及び別表 7 に放射エネルギーでの通報基準がある。

#### 4.3 核種毎の規制について

Dunster による誘導実用限度（ $\alpha$  放出核種 : 4 Bq/cm<sup>2</sup>,  $\beta/\gamma$  放出核種 : 40 Bq/cm<sup>2</sup>）は、原子力エネルギー産業で使用するために当初は確立された。これらは不特定多数の放射性核種に対応できるように設計されていたため、<sup>90</sup>Sr, <sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra, <sup>239</sup>Pu といった危険度の最も高い核種による汚染という前提に立っていた。未知の混合核種の場合、この前提は適切かもしれない。しかしながら、大学、医療及び一般産業等においてしばしば使用される、比

<sup>15</sup> 原子力規制委員会の令和元年 9 月 1 日付「放射性同位元素等の規制に関する法律第 31 条の 2 の規定に基づく放射性同位元素等の規制に関する法律施行規則第 28 条の 3 の規定による原子力規制委員会への事故等の報告に関する解釈」によれば、「放射性同位元素等の放射エネルギーが微量のときその他漏えいの程度が軽微なとき」とは、「数量告示第 7 条に規定する空气中濃度限度及び数量告示第 8 条に規定する表面密度限度を超えない量」を指すとされる（下線は報告者による）。

較的危険度の低い核種に適用する場合、上記の誘導実用限度は厳しすぎる。こうした考えに基づき、英国の法規制では、1985年の改正法令から、管理区域設定のための表面密度や放射性物質が漏れたときに通報すべき放射エネルギーを核種毎に設定することに変更した。

わが国の規制では、 $\alpha$  放出核種と  $\beta$  放出核種という二つの括りしかない。これは測定や管理を単純化できるという利点はある一方で、一部の核種（例えば下限数量の値が大きい）に対しては、不当に厳しい管理を要求するものにほかならない。

#### 4.4 まとめ

日英両国の放射性表面汚染に係る法規制の歴史的変遷を表 3 に整理する。ここでは、表面汚染に関連する項目を、「除染又は区域設定のための表面密度 (Bq/cm<sup>2</sup>)」、「表面密度算出のための平均化面積(cm<sup>2</sup>)の指定」及び「放射性物質が漏れたときの明確な通報基準(Bq)」に分け、それらが何時法令等に取り入れられたかを示している。わが国では、「除染又は区域設定のための表面密度」が 1960 年に規定されて以降、その内容に大きな変更はない。一方、英国は、初期は表面密度に、その後、平均化面積の導入を経て、現在は放射エネルギーでの規制にむしろ重点を置くなど大きく変更された。こうした変更の背景には、以下のような考察や判断があったためと推察される。

- ・1950～1960 年代に UKAEA の内部ルールを一度は国の法令等に取り入れたものの、作業者の線量限度と直接の相関関係があるわけではなく、また参考レベルに過ぎないとする ICRP の勧告を参考にすると、誘導実用限度を法令に具体的な数値として規定し続けることは好ましくない。
- ・放射性物資の漏れが生じた場合の通報基準が、表面密度ではなく放射エネルギーで規定されたことも、誘導実用限度に相当する程度の表面密度であれば、相当広い範囲にわたるものでない限り、重大な汚染事象にはなりえない。
- ・区域設定や、上記の通報基準に満たない汚染であれば、事業者が自主的に定めた管理基準で十分な対応が可能である。

表3 日英両国の放射性表面汚染に係る法規制の歴史の変遷

国	表面汚染に関連して法令で規定された項目	1957 [14]	1960	1964 [15]	1968 [18]	1985 [20]	1999 [24]	2017 [25]
英国	除染又は区域設定のための表面密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )	○		○	○	○*	—	—
	表面密度算出のための平均化面積 (cm <sup>2</sup> ) の指定	—		○	○	○	—	—
	放射性物質が漏れたときの明確な通報基準 (Bq)	—		—	○	○*	○*	○*
日本	除染又は区域設定のための表面密度 (Bq/cm <sup>2</sup> )		○					

\* 核種毎に数値を指定

## 5. 結 言

放射性表面汚染に関してわが国の法令で現在定められている表面密度限度 ( $\alpha$  放出核種に対して 4 Bq/cm<sup>2</sup>,  $\beta/\gamma$  放出核種に対して 40 Bq/cm<sup>2</sup>) は、1950 年代から 1960 年代にかけて英国原子力公社 (UKAEA) の Dunster によって研究された誘導実用限度に基づくと考えられる。この誘導実用限度は日英両国でほぼ同じ時期に法令に取り入れられたが、それ以来、わが国では規制内容がほとんど変わらなかったのに対し、英国では幾度となく変更が加えられた。そこで、わが国における今後の規制の在り方についての検討材料とすべく、表面密度に関する日英両国の規制の違いについて、その歴史的な変遷も含めて調査した。その結果を以下に示す。

- 英国では、 $\alpha$  放出核種に対して 4 Bq/cm<sup>2</sup> 及び  $\beta$  放出核種に対して 40 Bq/cm<sup>2</sup> (又はそれらの 1/10) の誘導実用限度が、当初は除染の基準として、続いて管理区域の設定目的で規定された。この値は 1970 年代後半になって見直され、1985 年規則において管理区域の設定だけを目的に再び規定されたが、その改定規則 (1999 年及び 2017 年) では撤廃された。ただし、表面汚染測定ニーズそのものがなくなったわけではなく、原子力事業者らは自主的に管理基準を設定するなどして、表面汚染モニタリングを実施している。一方、わが国では、 $\alpha$  放出核種に対して 4 Bq/cm<sup>2</sup> 及び  $\beta$  放出核種に対して 40 Bq/cm<sup>2</sup> とする表面密度限度が 1960 年に除染及び区域設定の目的で規定され、今日まで適用され続けている。
- 英国では、表面汚染の測定方法の斉一化のための平均化面積 (床・壁・天井 : 1,000 cm<sup>2</sup>, 物の表面 : 300 cm<sup>2</sup>, 身体表面 : 100 cm<sup>2</sup> (手は 300 cm<sup>2</sup>)) が 1960 年代に導入された。現在の規則にはこうした指定は見あたらないが、原子力事業者は測定ルールとしてそれ



を今も引き継いでいる。対して、わが国では平均化面積についての具体的な指定は法令にはなく、表面汚染サーベイメータの窓面積が最小の平均化面積として使用される場合が多い。

- ・英国では、1968年の規則（IR(URS)R）において放射性物質が漏えいした場合の通報基準として核種毎に放射エネルギー（Bq）を規定した。数値に変更はあれども現行の規則においても引き続き規定されている。一方、わが国では放射性物質が漏れたときに規制当局に通報するとする条文はあれども、それがどれだけの放射エネルギーなのかについて具体的な指定はない。

わが国と英国では、表面密度に係る規制について出発点をほぼ等しくしていたが、現在は上記のように大きく異なる規制が適用されている。

このような放射性表面汚染に関する日英両国の現在の法規制におけるあからさまな相違は、わが国の法令に定められた表面密度限度の今後の取扱いについて、それを継続するにせよ変更にするにせよ、何らかの議論を促すように思われる。そうした議論を進めていく場合、以下の項目がその議論の対象となるであろう。

- ・表面密度限度（ $\alpha$  放出核種 4 Bq/cm<sup>2</sup>、 $\beta$  放出核種 40 Bq/cm<sup>2</sup>）を今後も継続するかどうか。ICRPの一連の勧告によれば、表面密度限度（誘導実用限度に相当する）は作業員の被ばくとの関連は薄く、現場で作業するにあたってのガイドに過ぎないものであるため、法令に定める意義はそもそも小さいのではないかと考えられる。
- ・仮に、法令から表面密度限度を撤廃する場合、事業者による自主管理の考え方の手本になるようなガイド本が必要になるのではないかと考えられる。また、そのガイド本の中に平均化面積の解説や解釈があることが望ましい。また、事業所外での輸送やクリアランスの考え方との整合も必要である。
- ・放射性物質の漏えい等による汚染が発生した場合の深刻さの尺度は、表面密度ではなく、放射能（Bq）に基づくべきであり、また、通報が必要な場合は、その数量を明確に指定しておくべきではないかと考えられる。

参考文献

- [1] Dunster, H. J., Contamination of Surface Radioactive Materials: The Derivation of Maximum Permissible Levels, *Atomics*, vol. 6, no. 8, 1955, pp.233–250.
- [2] Dunster, H. J., Maximum Permissible Levels of Skin Contamination, United Kingdom Atomic Energy Authority, AHSB(RP) R 28, 1962, 13p.
- [3] Dunster, H. J., Surface Contamination Measurements as an Index of Control of Radioactive Materials, *Health Physics*, vol. 8, 1962, pp.353–356.
- [4] Dunster, H. J., The Concept of Derived Working Limits for Surface Contamination. Surface Contamination, Proceedings of a Symposium Held at Gatlinburg, Tennessee, June 1964, Pergamon Press, 1967, pp.139–147.
- [5] 線量当量の測定・評価委員会（委員長 浜田達二），放射性表面汚染の測定・評価マニュアル，原子力安全技術センター，1988，51p.
- [6] 日本保健物理学会放射線防護標準化委員会（委員長 山本英明），【解説】計画被ばく状況における汚染した物の搬出のためのガイドライン（案），日本保健物理学会，2016，18p，[http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku\\_commentary.pdf](http://www.jhps.or.jp/pdf/keikakuhibaku_commentary.pdf)（参照：2024年4月1日）。
- [7] Dunster, H. J., The Application and Interpretation of ICRP Recommendations in the United Kingdom Atomic Energy Authority, United Kingdom Atomic Energy Authority, AHSB(RP) R 78, 1967, 29p.
- [8] IAEA, Safe Handling of Radioisotopes, First Edition with Revised Appendix I, International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 1, 1962, 127p.
- [9] ICRP, Recommendations of the ICRP, ICRP Publication 26, Ann. ICRP 1 (3), 1977, 80p.
- [10] ICRP, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 60, Ann. ICRP 21 (1–3), 1991, 201p.
- [11] 浜田達二ほか，国際放射線防護委員会 1977 年勧告の法令取入れについて（法令改正に関する質問に答えて），原子力安全研究協会，1988，166p.
- [12] ICRP, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, ICRP Publication 30 (Part 1), Ann. ICRP 2 (3–4), 1979, 116p.
- [13] Bines, W. P. and Chandler, S. D., The Development of Occupational, Public and Environmental Radiation Protection Legislation in Great Britain, Proceedings of 10th International Congress of the International Radiation Protection Association (IRPA10), Hiroshima, Japan, 2000, P-9-124, 6p.
- [14] Code of Practice for the Protection of Persons Exposed to Ionising Radiations, Her Majesty's Stationery Office, 1957, 83p.
- [15] Code of Practice for the Protection of Persons Against Ionizing Radiations Arising

- from Medical and Dental Use, Her Majesty's Stationery Office, 1964, 125p.
- [16] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, Safety Series No. 6, 1961, 72p.
- [17] IAEA, Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials—Notes on Certain Aspects of the Regulations, Safety Series No. 7, 1961, 105p.
- [18] The Ionising Radiations (Unsealed Radioactive Substances) Regulations 1968, Statutory Instruments No.780, Her Majesty's Stationery Office, London, 1968, 30p.
- [19] The Ionising Radiations (Sealed Sources) Regulations 1961, Statutory Instruments No.1470, Her Majesty's Stationery Office, London, 1961, 16p.
- [20] The Ionising Radiations Regulations, Statutory Instruments No. 1333, Her Majesty's Stationery Office, London, 1985, 84p.
- [21] Wrixon, A. D., Linsley, G. S., Binns, K. C., and White, D. F., Derived Limits for Surface Contamination, National Radiological Protection Board, NRPB-DL-2, 1979, 35p.; Wrixon, A. D. and Linsley, G. S. Derived Limits for Surface Contamination, National Radiological Protection Board, NRPB-DL-2 (Supplement), 1982, 9p.
- [22] Gibson, J. A. B. and Wrixon, A. D., Methods for the Calculation of Derived Working Limits for Surface Contamination by Low-toxicity Radionuclides, Health Physics, vol. 36, no. 3, 1979, pp.311–321.
- [23] Approved Code of Practice, The Protection of Persons Against Ionizing Radiation Arising from Any Work Activity, The Ionising Radiations Regulations 1985, Health and Safety Executive, 1985, 40p.
- [24] The Ionising Radiations Regulations 1999, Statutory Instruments No. 3232, 1999, <https://www.legislation.gov.uk/uksi/1999/3232/contents/made> (参照：2024年4月1日)。
- [25] The Ionising Radiations Regulations 2017, Statutory Instruments No. 1075, 2017, <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2017/1075/contents/made> (参照：2024年4月1日)。
- [26] ICRP, General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers. ICRP Publication 12, Pergamon Press, Oxford, 1969, 24p.
- [27] ICRP, General Principles of Monitoring for Radiation Protection of Workers, ICRP Publication 35, Ann. ICRP 9 (4), 1982, 36p.
- [28] IAEA, Safe Handling of Radioisotopes, 1973 Edition, International Atomic Energy Agency, Safety Series No. 1 revision, 1973, 91p.
- [29] Ministry of Labour, Code of Practice for the Protection of Persons Exposed to Ionizing Radiation in Research and Teaching, Her Majesty's Stationery Office, 1968, 65p.
- [30] ICRP, General Principles for the Radiation Protection of Workers, ICRP Publication



- 75, Ann. ICRP 27 (1), 1997, 61p.
- [31] Work with Ionising Radiation, The Ionising Radiations Regulations 1999, Approved Code of Practice and Guidance, Health and Safety Executive (HSE) Books L121, 2000, 184p.
- [32] Work with Ionising Radiation, Ionising Radiations Regulations 2017, Approved Code of Practice and Guidance, Health and Safety Executive (HSE) Books L121 (second edition), 2018, <https://www.hse.gov.uk/pubns/books/l121.htm> (参照：2024年4月1日) .
- [33] Lunn, M. P., and Renn, G. A., Practical limitations of monitoring personal contamination at a PWR, Proceedings of ISOE European Workshop, Portoroz , Slovenia, 2002, pp.295–302.
- [34] Clearance and Exemption Principles, Processes and Practices for Use by the Nuclear Industry, A Nuclear Industry Code of Practice, Nuclear Industry Safety Directors Forum, 2005, 204p.
- [35] Operational Monitoring Good Practice Guide, The Selection of Alarm Levels for Personnel Exit Monitors, Industry Radiological Protection Coordination Group, 2009, 59p.
- [36] Clayton, R. F., Monitoring of Radioactive Contamination of Surfaces, IAEA Technical Report Series No. 120, 1970, 33p.
- [37] Practical Radiation Monitoring, Measurement Good Practice Guide No. 30, Issue 2, National Physical Laboratory, 2014, 77p.
- [38] 放射線審議会基本部会, 外部被ばく及び内部被ばくの評価法に係る技術的指針, 1999.
- [39] Chamberlain, A. C. and Stanbury, G. R., The Hazard from Inhaled Fission Products in Rescue Operations After an Atomic Bomb Explosion, Atomic Energy Research Establishment, AERE-HP/R-737, CD/SA-23, 1951, 23p.
- [40] Delacroix, D., Guerre, J. P., Leblanc, P., and Hickman, C., Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2nd Edition, 2002, Radiation Protection Dosimetry, vol. 98, no. 1, 2002, pp.1–168.
- [41] Healy, J. W., Surface Contamination Decision Levels, Los Alamos Scientific Laboratory, LA-4558-MS, 1971, 115p.

This is a blank page.



