

自然放射性物質の規制免除について

平成15年10月

放射線審議会基本部会

目次

| | Page |
|---|------|
| 1．はじめに | 1 |
| 2．自然放射性物質の概要 | 1 |
| 2.1 自然放射性物質について | 1 |
| 2.2 自然放射性物質に対する放射線防護の基本的考え方 | 3 |
| 2.3 海外における自然放射性物質の規制の状況 | 3 |
| 3．国内における自然放射性物質の利用実態 | 4 |
| 3.1 概要 | 4 |
| 3.2 利用実態 | 4 |
| 3.2.1 産業利用 | 4 |
| 3.2.2 一般消費財 | 7 |
| 4．国内における自然放射性物質に対する規制 | 8 |
| 4.1 我が国における規制の現状 | 8 |
| 4.2 規制の必要性 | 8 |
| 4.3 自然放射性物質を含む物質の分類とその対応 | 9 |
| 5．おわりに | 12 |
| 参考資料1 放射線審議会基本部会名簿 | 13 |
| 参考資料2 放射線審議会委員名簿 | 14 |
| 参考資料3 自然放射性物質の規制免除に関する放射線審議会 基本部会の検討経緯 | 15 |
| 参考資料4 欧州委員会報告書 RP-122 の概要 | 16 |
| 参考資料5 海外における規制の現状 | 20 |
| 付録1 用語解説 | 22 |

1. はじめに

自然界には、地球誕生以来地殻に存在するものや宇宙線により生成されたものなど、さまざまな放射性核種が存在し、これらの核種を含む物質は、自然起源の放射性物質（NORM^a：Naturally Occurring Radioactive Materials）（以下「自然放射性物質」という。）と呼ばれている。放射能濃度の高いものは、モナザイト、リン鉱石、チタン鉱石、その他の鉱石、鉱物砂などであり、産業用の原材料として広く利用されている。また、これらをもとに製造された製品は、幅広い分野で利用され、一般消費財としても多くの人に使用されている。

ウラン、トリウム等の自然放射性物質を含んでいる原材料や一般消費財の一部には、国際原子力機関（IAEA）の安全シリーズ No.115「電離放射線に対する防護と放射線源の安全のための国際基本安全基準」¹（以下「BSS」という。）で定められている免除レベルを上回るものも見られる。原材料及び一般消費財のうち、放射能濃度や放射能が BSS 免除レベルを超えるものは、人工放射線源と同様に規制対象とする必要があるかどうかを検討する必要がある。

国際放射線防護委員会（ICRP）では、自然放射線源による被ばくを基本的に放射線防護の対象外としてきた。しかし、ICRP Publ.60²（1990年勧告）において、操業でのラドン被ばく及び微量の自然放射性物質を有意に含む物質を扱う操業や貯蔵における作業員の被ばくは、職業被ばくとして管理するとの提案がなされた。

平成 11 年 4 月に、BSS 免除レベルの国内法令への取り入れの検討が、放射線審議会基本部会において開始され、平成 14 年 10 月に『自然放射性物質の規制免除については、今後国内の利用実態及び海外の動向を調査して検討する必要がある』との内容を含む報告書「規制免除について」がとりまとめられた。放射線審議会は、平成 15 年 2 月 26 日の第 79 回総会において、自然放射性物質の規制免除についての検討を基本部会で行うこととし、同基本部会において、我が国の法令に BSS 免除レベルを取り入れることに関連し、自然放射性物質の規制免除に関して検討した。本報告書は、その検討結果をとりまとめたものである。

2. 自然放射性物質の概要

2.1 自然放射性物質について

原子放射線の影響に関する国連科学委員会（UNSCEAR）2000 年報告書³（以下「UNSCEAR 2000 年報告書」という。）では、自然放射線源による被ばくの世界平均は、2.4 mSv/年であると評価されている。その内訳は、宇宙線や宇宙線により生成する放射性核種による外部被ばく 0.39 mSv/年、大地起源の放射性核種（建材を含む）からの外部被ばく 0.48 mSv/年、ラドン等の吸入による内部被ばく 1.26 mSv/年及び食物摂取による内部被ばく 0.29 mSv/年である。これらに対する最も大きい被ばくの要因は Th-232 系列核種、U-238 系列核種であり、全体の約 7 割を占めている。

自然界に存在する放射性核種としては、K-40、Rb-87、Cd-113、In-115、Te-123、La-138、Nd-144、Sm-147、Gd-152、Lu-176、Hf-174、Re-187、Os-186、

^a NORM：用語解説（付録 1）を参照

¹ International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, Safety Series No.115, IAEA, Vienna(1996)

² 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection., ICRP(1991)

³ Sources and Effects of Ionizing Radiation., UNSCEAR(2000)

Pt-190 及び Th-232 系列核種、U-235 系列核種、U-238 系列核種などが挙げられる。また、宇宙線により生成される H-3、Be-7、C-14 などは、自然に生成される放射性核種に含まれる。

これら自然放射性核種のうち、UNSCEAR 2000 年報告書に示された一般環境での濃度レベルを考慮して、BSS 免除レベルより十分濃度が低く規制の対象かどうか検討する必要はないと考えられる核種を除き、規制対象とすべきか検討する必要のある核種とその属性を表 1 に示す。

本報告書においては、表 1 に掲げた核種のうち単体の比放射能が BSS 免除レベルを超える Sm-147、Th-232 系列核種、U-238 系列核種を含むものについて規制のあり方を検討する。なお、Th-232 系列核種、U-238 系列核種に属する Rn-220、Rn-222 については、規制下にあるラジウム線源から発生するラドンは現行法による規制下にあり、また、住居等におけるラドンについては、介入対象として対策レベルを今後検討することとなっているため、今回の検討対象から除く。また、放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質やラジウム線源など放射線源として使用されるものは、すでに法規制の体系があるため今回の検討対象から除く。(表 5 の区分 7 及び 8 参照)

表 1 規制の対象とすべきか検討を要する自然放射性核種

| 核種名 | 壊変 | エネルギー (MeV) ()内放出割合(%)*1 | 半減期*1 | 天然 存在比*1 (%) | 単体の 比放射能 ^b (Bq/g 金属) | BSS 免除 レベル (Bq/g) |
|--------------|----|--|---------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| K-40 | | 1.314(89.3) : 1.46(10.7) | 1.28 × 10 ⁹ 年 | 0.0117 | 30.3 | 100 |
| Rb-87 | | 0.273(100) | 4.75 × 10 ¹⁰ 年 | 27.85 | 892 | 10,000 |
| La-138 | | 0.254(32.9) : 0.7884(33) : 1.4356(67) | 1.35 × 10 ¹¹ 年 | 0.089 | 0.632 | 10 |
| Sm-147 | | 2.232(100) | 1.07 × 10 ¹¹ 年 | 15.07 | 127 | 10 |
| Lu-176 | | 0.42(100) : 0.306(94.6) : 0.201(78.4) | 3 × 10 ¹⁰ 年 | 2.6 | 65.2 | 100 |
| Th-232 | | 4.013(77),3.954(23) | 1.41 × 10 ¹⁰ 年 | 100 | 4,060 | 10 |
| Th-232 系列 | | Th-232,Ra-228,Ac-228,Th-228,Ra-224,Rn-220,Po-216,Pb-212, Bi-212,Tl-208,Po-212 | | | | 1 |
| U-235 | | 4.40(57),4.368(12.3) : 0.186(54) : 0.144(10.5) | 7.04 × 10 ⁸ 年 | 0.72 | 576 | 10 |
| U-238 | | 4.197(77),4.15(23) | 4.47 × 10 ⁹ 年 | 99.274 | 12,400 | 10 |
| U-238 系列 | | U-238,Th-234,Pa-234m,U-234,Th-230,Ra-226,Rn-222,Po-218, Pb-214,Bi-214,Po-214,Pb-210,Bi-210,Po-210 | | | | 1 |
| Rn-220*2 | | 6.288(99.93) | 55.6 秒 | - | - | - |
| Rn-222*3 | | 5.4895(99.9) | 3.824 日 | - | - | - |

*1 : 放射線データブック (地人書館、1982 年) より抜粋

*2 : Rn-220 は、Th-232 系列の Ra-224 から生成する壊変生成物である。

*3 : Rn-222 は、U-238 系列の Ra-226 から生成する壊変生成物である。

b 比放射能 : 用語解説 (付録 1) を参照

2.2 自然放射性物質に対する放射線防護の基本的考え方

自然放射性物質については、人の手が加えられず地殻や土壌中に存在する場合には、制御が不可能であるため、規制から除外すべきであると考えられる。ICRP 1990年勧告においては、「除外」^cについて『地表における宇宙線及び体内の K-40 のような本質的に制御不可能な線源は、規制手段の範囲から除外する。』とされている。

自然放射性物質を採取したり、加工してその濃度を高めたり、また処分することにより、作業員や公衆の被ばくを増大させる場合については、これらの活動は、人工放射線源の利用と同様に ICRP が規定する「行為」^cと考えられる。ただし、低濃度の自然放射性物質を含む原材料の利用は、多くの場合その放射線を放出する性質を意図して利用するものでなく、またそれを認識していない。このような場合の自然放射性物質は、もともと自然界に存在している物質であり、それを長く利用してきたことから「すでに被ばくの経路が存在している」と考えられる。ICRP Publ.82「長期放射線被ばく状況における公衆の防護」においては、「行為」は、ある便益を得る目的で、計画された選択の問題として採用されるものとしている。また、「介入」^cは、その存在が健康上の問題であるかもしれないが選択の問題ではなく、すでに事実上存在する被ばくを減らすことを意図しているものとしている。このように「行為」は選択されたものであるのに対し、「介入」の対象は、選択しないで事実上存在する被ばく源としている。この観点から、自然放射性物質の利用は、「行為」と「介入」の両方の要素を持つと考えられる。「介入」の対象となるものについての免除に関し、ICRP Publ.82 では、「介入」の対象となる主な種類の商品からの予測される個人年線量の介入免除レベルについて、おおよそ 1 mSv の値を勧告している。また、この勧告に基づき、関係する国の機関は、個々の商品、特に建材に対して、放射性核種別の介入免除レベルを規定すべきであるとされている。

以上の観点から自然放射性物質の規制免除については、人工放射線源の規制免除のように「行為」だけでなく、「介入」の要素も考慮に入れる必要がある。

2.3 海外における自然放射性物質の規制の状況

自然放射性物質に対する規制免除についての基本方針は、現在、ICRP において明確に規定されているわけではない。免除に関する方針としてまとめられたものとしては、欧州委員会の報告書 RP-122「規制免除とクリアランスの概念の自然放射線源への適用」⁴（2001年）^d（以下「RP-122」という。）がある。ここで、自然放射線源による高められた被ばくについては、「作業活動」という新たなカテゴリーを設けて、規制免除に関する線量規準として 0.3 mSv/年が採用され、人工の放射線源による被ばくをもたらす「行為」に対して用いられている 10 μSv/年は、適用されていない。

欧州連合加盟国では、2002年11月現在でポルトガルを除く14カ国で BSS の免除と同様の内容を盛り込んだ欧州原子力共同体指令書（1996年5月採択）を受けて国内法の改正が実施され、人工放射線源については、一部の例外を除き、BSS 免除レベルと同じ値を導入している。自然放射性物質についても、ほ

^c 「除外」、「行為」、「介入」：用語解説（付録1）を参照

⁴ Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption-Part 4: Application of the Concepts of Exemption and Clearance to Natural Radiation Sources: Radiation Protection 122, European Commission(2001)

^d RP-122の概要を参考資料4に示す。

とんどの加盟国においてすでに自然放射性物質の規制制度を取り入れているが、免除レベルの設定やその線量規準、規制方法については、国によって異なる対応がとられている。

BSS 免除レベルは、米国では、取り入れられておらず、カナダでは、一部取り入れられている。また、これらの国や BSS 免除レベルを導入した中国についても、自然放射性物質の規制制度は一部を除き取り入れていない。

各国の自然放射性物質の規制免除について、その概要を参考資料 5 に示す。

3. 国内における自然放射性物質の利用実態

3.1 概要

UNSCEAR 2000 年報告書及び RP-122 には、自然放射性物質を含む鉱物等について放射能レベルの情報が記載されている。

RP-122 によると、もともと放射能濃度が BSS 免除レベルを超える可能性のあるものだけでなく、放射能濃度が低いものについても、有用物質を抽出する過程で生じる残渣や副産物において、意図せずにウラン及びトリウム比率が高まることが示されており、結果として濃度が BSS 免除レベルを超えることもあると考えられる。また、これらの鉱物等が、化学的・物理的に処理されて一般消費財（製品）として生活環境に数多く存在している。

このため、自然放射性物質を含むものを取扱う作業及び一般消費財について文部科学省原子力安全課（原子力規制室及び放射線規制室）により調査が行われた。なお、この調査は規制免除の方針を検討するための基礎資料を作成する目的で行われたものである。

3.2 利用実態

3.2.1 産業利用

(1) 概要

資源小国である我が国は、産業活動で使用する原材料を海外からの輸入に依存しており、多いものでは年間 1 億トンを超える量が輸入されている。また、これらの産業活動には長い歴史がある。

実態調査は、産業利用されている鉱石類のうち、比較的自然放射性物質の濃度が高いと思われるモナザイト、リン鉱石、チタン鉱石、バストネサイト、ジルコン及び輸入量が多い石炭並びに金属単体としての濃度が BSS 免除レベルを超える酸化サマリウムを対象とした。

空間放射線量率は、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ^eを用いて測定した。また、放射能濃度は、採取した試料のウラン、トリウム及びサマリウムの含有率を、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS)^eを用いて測定し、それぞれの核種の比放射能を乗じることにより U-238、Th-232 及び Sm-147 について求めた。ウラン及びトリウムを含むものからの被ばく線量は、空間放射線量率等から、サマリウムを含むものからの被ばく線量は、空气中放射能濃度等からそれぞれ算出した。

(2) 調査結果

調査の結果、原料鉱石の放射能濃度で、仮に、Th-232 系列核種及び U-238 系列核種の BSS 免除レベルである 1 Bq/g（それぞれ Th-232、U-238 として）や

^e サーベイメータ、誘導結合プラズマ質量分析装置：用語解説（付録 1）を参照

RP-122 の 0.5 Bq/g を目安値とすると、この値を超えるものがモナザイト、リン鉱石、ジルコン及びバストネサイトの工場から採取した試料で確認された。リン鉱石はヨルダン産、モロッコ産のものだけが目安値を超えていた。このことは、産出国により放射能濃度に違いがあることを示している。また、モナザイト、ジルコン及びバストネサイトは、化学処理を行わないため原料の化学的成分が変化せずにそのまま、あるいは他の物質と混合され、製品となって市場に出回る。なお、各鉱石とも工程の過程で発生する廃棄物は、産業廃棄物として処理されるが、工程中で希釈されることにより、目安値を超えるものは確認されなかった。

空間放射線量率の測定の結果、原料鉱石の放射能濃度が低いものでも、工程中に缶石 (scale)^f 等が付着し、対象物から 1 m 離れた位置で数 $\mu\text{Sv}/\text{時}$ のような比較的高い空間放射線量率を示す場合があった。しかし、作業者の年間外部被ばく線量は、実際の作業時間を考慮すると、最大でもバストネサイトの製品置場での作業における約 0.40 mSv/年である。なお、原料粉等の粉末状物質を取り扱う作業においては、作業員は粉塵対策のためマスクを着用していることから、粉塵の吸入は少ないものと推定される。また、敷地境界の空間放射線量率は、全国其自然放射線量率 0.004 ~ 0.11 $\mu\text{Sv}/\text{時}$ (宇宙線を除く) と同程度であり、一般公衆については、安全上特に問題はないと考えられる。

酸化サマリウムは、中国、フランス等から年間 100 トン前後輸入されている。一部がセラミックス材料に加工されており、残りは金属にされコバルトなどと合金を作り、磁石の原料となっている。磁石は、様々な分野で利用されている。サマリウムには、 β 線のみを放出する自然放射性核種である Sm-147 が含まれているため、内部被ばくを考慮する必要がある。合金及び磁石の生産工程中、粉碎及び焼結等の粉塵が発生する工程がある。そこで、各工程における作業場所の空气中濃度を測定し、サマリウムによる実効線量を算出した結果、粉塵の粒子径が 1 ~ 50 μm の間では、呼吸率 1.2 $\text{m}^3/\text{時}$ 、年間作業時間 2,000 時間とした場合、年間約 10 ~ 380 μSv であった。これは、保守的な仮定により算出したものであり、マスクの着用 (マスクの防護係数 : 10)⁵、実際の作業時間等を考慮した評価を行えば、さらに低い線量となる。これらの理由により年間 1 mSv を超えることはないと思われる。

ウラン、トリウムを含む鉱石の利用実態の調査結果を表 2-1 に示す。この表に記載したモナザイトは、核原料物質として核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律 (以下「原子炉等規制法」という。) で規制の対象となっている。また、サマリウムの利用実態と被ばく評価結果を表 2-2 に示す。

なお、各工場では、過去に原料等の核種分析を実施した経験を有するものもあったが、チタン鉱石を除き、自然放射性物質が含まれるということを前提とした設備対応や継続的な分析は実施されていない。

^f 缶石 : 用語解説 (付録 1) を参照

⁵ 村田幹生、池沢芳夫、吉田芳和 : "着用時における浄気式全面、半面マスクの防護性能"、保健物理、14、115-124(1979)。

表2 - 1 ウラン、トリウムを含む鉱石の利用実態の調査結果

| 鉱物名 | 年間輸入量(産出国) | 製品(副産物) | 工程 | 核種分析 ^{*4} 濃度 (Bq/g) | | | 空間放射線量率 ^{*5} (μSv/時) | | 被ばく線量評価 (mSv/年) |
|---------|-------------------------------------|-------------------|--|------------------------------|-------|----------------------|-------------------------------|------------------------------|---|
| | | | | 試料名 | U-238 | Th-232 | | | |
| モナザイト | 過去に約数十トン(ベトナム、マレーシア) | 温泉浴素、塗料 | 砂状のモナザイトを粉碎処理し、健康用品、塗料及び温泉浴素の原料に使用 | モナザイト | 40程度 | 300 ^{*6} 程度 | モナザイト倉庫 | 表面：100 (Th濃度7%) | 0.3 (製品製造場所での作業) (年間作業時間：約360時間、作業場所放射線量率*7：0.75μSv/時) |
| | | | | | | | 製品製造場所 | 1m：0.8 | |
| リン鉱石 | 約90万トン(中国、モロッコ、ヨルダン、南アフリカ等) | リン安(石膏・螢石・珪弗化ソーダ) | リン鉱石に硫酸を加えて分解して、リン酸と石膏を得る。このリン酸にアンモニアを反応させてリン安(リン酸アンモニウム)を製造 | リン鉱石(ヨルダン産) | 0.74 | 0.0078 | リン鉱石倉庫 | 表面：0.32~0.46 1m：0.19~0.22 | 0.28 (リン鉱石倉庫での作業) (年間作業時間：約1600時間、作業場所放射線量率*7：0.18μSv/時) |
| | | | | リン鉱石(モロッコ産) | 1.2 | 0.0084 | リン鉱石貯蔵庫 | 床表面：0.26 1m：0.17 | |
| | | | | リン鉱石(中国産) | 0.10 | 0.0019 | リン酸液工場内タンク | 表面：4.6 | |
| | | | | 濃縮リン酸 | 0.8 | 0.0038 | 製品倉庫 | 表面：0.05 1m：0.05 | |
| | | | | リン安 | 0.73 | 0.0044 | | | |
| チタン鉱石 | 約40万トン(南アフリカ、インド、ベトナム、オーストラリア、カナダ等) | 酸化チタン(石膏・酸化鉄) | チタン鉱石に硫酸を加えて分解し、その後、静置、濾過、焼成、乾燥等の工程を経て酸化チタンを製造 | チタン鉱石(南アフリカ産) | 0.074 | 0.13~0.16 | 原料鉱石置場(南アフリカ産) | 表面：0.20~0.40 1m：0.15~0.25 | 0.27 (鉱石置場での作業) (年間作業時間：約1400時間、作業場所放射線量率*7：0.19μSv/時) |
| | | | | 酸化チタン製品 | 0.018 | 0.0013 | 静置タンク | 表面：0.30 1m：0.15 | |
| | | | | 産業廃棄物 | 0.21 | 0.23 | 産業廃棄物置場 | 表面：0.30 1m：0.15 | |
| バストネサイト | 約2千~3千トン(アメリカ) | 研磨材 | バストネサイトを湿式の粉碎機で粉碎し、その後、濾過、乾燥、焙焼、粉碎、分級され、研磨材生成 | バストネサイト原料 | 1.1 | 5.8 | 原料置場 | 表面：1.9 1m：0.6 | 0.40 (製品置場での作業) (年間作業時間：約480時間、作業場所放射線量率*7：0.84μSv/時) |
| | | | | 濾過フィルター分離固体分 | 1.0 | 4.9 | 原料投入ホッパー | 表面：2.0 1m：0.10 | |
| | | | | 研磨材製品 | 1.4 | 7.1 | 製品置場 | 表面：3.6 1m：0.88 | |
| ジルコン | 約7万トン(南アフリカ、オーストラリア等) | 耐火物 | ジルコンを秤量し、混練、成形、乾燥、焼成の後、耐火レンガ生成。 | 原料(ジルコンサンド) | 4.2 | 0.77 | 原料置場(耐火レンガ用ジルコンフロー) | 表面：2.7 1m：1.0 | 0.14 (製品置場での作業) (年間作業時間：約120時間、作業場所放射線量率*7：1.13μSv/時) |
| | | | | 耐火物レンガ(ジルコン100%) | 3.5 | 0.81 | ジルコン含有率80%耐火物 | 表面：1.8 1m：1.2 | |
| | | | | 廃棄物一時置場集塵 | 0.17 | 0.037 | 廃棄物一時置場 | 1m：0.15 | |
| 石炭 | 約1億5,500万トン(オーストラリア、中国、インドネシア、カナダ等) | フライアッシュ・クリンカ | 石炭をボイラーで燃焼させると、ボイラー下部からクリンカ、集塵装置からフライアッシュを回収 | 石炭(中国産) | 0.015 | 0.018 | 貯炭場 | 表面：0.03 1m：0.03 | 0.13 (クリンカ倉庫での作業) (年間作業時間：約1100時間、作業場所放射線量率*7：0.12μSv/時) |
| | | | | クリンカ | 0.097 | 0.072 | クリンカ倉庫 | 表面：0.15 1m：0.15 | |
| | | | | フライアッシュ | 0.095 | 0.091 | 灰捨場 | 表面：0.15 1m：0.10 | |

*4：鉱石毎の調査で比較的放射能濃度が高い試料を代表して記載した。(文部科学省原子力安全課原子力規制室調査 2003年)

*5：鉱石毎の調査で比較的高い空間放射線量率が測定された箇所を代表して記載した。また、1mとあるのは対象物から1m離れた位置での空間放射線量率を示す。

*6：トリウムとして濃度が370Bq/gを超えており、数量が900gを超えるため規制対象となっている。

*7：対象物から1m離れた位置の空間放射線量率からバックグラウンド(敷地境界測定値)分を差し引いた値。

表 2 - 2 サマリウムの利用実態と被ばく評価結果

| 物質名 | 輸入量 (産出国) | 製品 | 工程 | 空气中濃度 | | 内部被ばく評価 (μSv/年) | | | |
|-------|-----------------------|-----------|--|--------|--|-----------------|-------|-----------|-------|
| | | | | | | 粒子径 1 μm | | 粒子径 50 μm | |
| | | | | | | マスクなし | マスクあり | マスクなし | マスクあり |
| サマリウム | 約 100 トン (中国、フランス) | 磁石、セラミックス | サマリウムは、酸化サマリウムからセラミックス材料を製造し、金属サマリウムからコバルト等と合金をつくり、磁石を製造 | 合金製造場所 | 空气中濃度： 3.1×10^{-9} Bq/cm ³ | 67 | 6.7 | 10 | 1.0 |
| | | | | 磁石製造場所 | 空气中濃度： 1.7×10^{-8} Bq/cm ³ | 380 | 38 | 59 | 5.9 |

(文部科学省原子力安全課放射線規制室調査 2003年)

3.2.2 一般消費財

(1) 概要

自然放射性物質を含有する鉱物が、化学的又は物理的に処理されて、一般消費財⁹⁾として生活環境で数多く使用されている。その用途については、船底塗料や自動車マフラーの触媒のように日常生活において接することのないものから、衣料や寝具等のように日常生活の中で身体に触れて使用されるものまで多様である。外部被ばくの観点では、壁紙や塗料のように、単位重量あたりの放射能濃度が高くても、壁等に塗布した場合に単位面積あたりの線量が低くなるものや、放射能濃度は低くても、装飾品のように、局所的な被ばくを考慮すべきものがある。このため、これらの一般消費財の中から主なものについて、試料分析調査を行い、その中の一部に対して、通常使用する状態における被ばく評価を行った。

(2) 調査結果

試料のウラン、トリウム含有率を、誘導結合プラズマ質量分析装置 (ICP-MS) を用いて測定し、それぞれの核種の比放射能を乗じることにより Th-232 及び U-238 の放射能濃度を求めた。分析調査の結果、一部の一般消費財で BSS 免除レベルを超えるものがみられた。また、使用者の外部被ばく線量を、一般消費財の通常使用状態及び使用する時間、線源等をモデル化して計算コードにより求めた。

被ばく評価の結果、ラドン温泉浴素で 110 μSv/年、肌着で、220 μSv/年、布団で 90 μSv/年、壁紙で 10 μSv/年となり、使用者の外部被ばく線量が 1 mSv/年を超える、又は、それに近い線量になることはないと考えられる。しかし、仮に、使用者が一般消費財を複数、同時に使用する場合には、年間数 100 μSv の線量を受けることも考えられる。

一般消費財中の放射能濃度の分析結果を表 3 に示す。

⁹⁾ 一般消費財：用語解説(付録1)を参照

表3 一般消費財中の放射能濃度の分析結果

| 試料 | 分析結果 (放射能濃度:Bq/g) | |
|-----------------------|-------------------|---------------|
| | U-238 | Th-232 |
| ラドン温泉浴素 A | 34 | 270 |
| 船底塗料 | 12 | 81 |
| ラドン温泉浴素 B | 10 | 81 |
| プレスレット・ネックレス (セラミック) | 1.7-8.8 | 12-71 |
| 健康器具 (粉体入) | 5.4 | 34 |
| 耐火物、耐火レンガ | 2.9-3.5 | 0.49-0.57 |
| マフラー触媒 | 3.3 | 210 |
| 衣料 (繊維に練込み) | 1 | 8.8 |
| サポーター・リストバンド (繊維に練込み) | 0.011-0.94 | 0.093-8.5 |
| 消臭塗料 | 0.4-0.82 | 2.9-5.5 |
| 靴下 (繊維に練込み) | 0.7 | 6.2 |
| シート (繊維に練込み) | 0.67 | 5.4 |
| 靴中敷き (粉体入) | 0.085-0.42 | 0.63-6.2 |
| 寝具 (繊維に練込み) | 0.043-0.26 | 0.01-2.3 |
| 研磨材 | 0.2 | 0.7 |
| リン酸肥料 | 0.038-0.073 | 0.0014-0.0015 |
| 湯の花 | 0.00084-0.012 | 0.00081-0.029 |

((財)原子力安全技術センター他調査 平成14年度)

4. 国内における自然放射性物質に対する規制の考え方

4.1 我が国における規制の現状

放射性同位元素による放射線障害の防止に関する法律(以下「放射線障害防止法」という。)及び原子炉等規制法においては、核種の濃度及び数量により規制が行われており、自然放射性物質で規制される核種の濃度は、74 Bq/g を超えるものとされている。なお、放射線障害防止法では、自然に賦存する放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物で固体状のものについては、370 Bq/g を超えるものを規制しており、原子炉等規制法においては、固体状の核原料物質について、370 Bq/g を超えるものを規制している。数量については、原子炉等規制法では、表4に示すとおり、ウラン量の3倍とトリウム量の合計が900gを超えるものについて核原料物質として届出が義務付けられている。ウラン及びトリウム以外の元素については、放射線障害防止法により3.7 kBq、37 kBq、370 kBq、3.7 MBqまでの4段階に放射性同位元素を分けて、各々の数量を超えた場合に規制対象としている。

表4 原子炉等規制法で規制される核原料物質の濃度及び数量

| 区分 | 濃度 | 数量(重量) |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| 核原料物質 (使用の届出を 要しない限度) | 74 Bq/g | ウラン量の3倍+トリウムの量 |
| | 固体状 370 Bq/g | 900 g |

4.2 規制の必要性

土壌や空気中など環境に存在する自然放射線源からの被ばくは、制御が不可能であるか、また制御してもその効果がほとんどない場合がある。このような放射線源について、ICRPにおいては「除外」の対象としている。しかし、自然放射性物質を含む原材料を用いる産業活動や自然放射性物質を含む一般消費

財の利用は、制御しうるものであり、作業員や一般公衆の被ばくを伴い、また何らかの利益を生むために選択されたものであることから、人工放射線源の利用と同様に「行為」の範疇に包含される。

自然放射性物質からの放射線も人工放射線源からのものと同じであるから、自然放射性物質による被ばくも放射線防護を目的とした規制の対象とすべきと考えられる。しかし、自然放射性物質では、放射能は極低レベルのものから有意な被ばくをもたらすレベルまで一般の環境に幅広く分布し、その放射能濃度に大きな幅があり、「放射線による影響がとるに足らないほど小さい線量」の考え方だけに基づいて免除レベル濃度を設定して、それを超えるものをすべて規制するという方法をとることは困難である。また、産業に利用される原材料に含まれる自然放射性物質は、放射性物質として作られたものではなく、その放射性を意図して用いられてはいない。

さらに、自然放射性物質を含む各種原材料は、過去から長く利用されており、「すでに被ばくの経路が存在している」と考えられるので、「介入」の対象としての要素を持っている。特に、原材料を取り扱う初期過程は人為性が小さいと考えられることから、「介入」の対象としての要素が大きい。ICRP では、「介入」の対象に対して、規制の規準も「行為」のそれとは異なるものが提案されている。より適切な規制を行うことにより、効果的なりスクの軽減が期待される。

以上の観点から、自然放射性物質の利用については、その利用形態において、人為性や実際の被ばくの可能性の観点から分類して、それぞれの特性に沿った規制の方法や免除又は介入免除について、被ばく線量に基づいた方法で対応する必要があると考えられる。

4.3 自然放射性物質を含む物質の分類とその対応

自然放射性物質を含む物質は、前節で述べたように分類して、それぞれの規制の対応策を考える必要があるが、表5にその分類と対応案を示す。

表中の検討を要する事例は、文献調査及び比較的多く自然放射性物質を含むものとして考えられるものについて実態調査したものを例として記載したものである。

表5の区分1は、規制に馴染まないもの及び規制しても放射線障害防止の効果が低いもので「除外」の対象とする。

区分2は、過去の行為（鉱山の残土及び産業利用による残渣等）による長期的な被ばくは、「行為」として管理されていなかったため、「介入」の対象とすべきものである。

区分3に属するエネルギー生産等一般産業における原料となる物質に含まれる自然放射性物質の濃度は、一般にBSS免除レベルよりも十分低く、産業活動自体は「行為」の対象ではない。これらの産業利用の過程で生成されるもの（石炭灰及び缶石等）は、放射性物質を含むことを意図しないで生成されたものであり、その生成は選択されたものではなく、また、生成されるものの物量及び放射能濃度は様々であることから、区分3も「介入」の対象とすべきである。ただし、これらの産業利用の過程で生成されるものを処分したり、再利用したりする場合は、区分4, 5に含まれ、また、一般消費財として使用される場合は区分6となる。

区分 4 における現在操業中の鉱山及び産業利用からの残渣の処分は、それらによる被ばく線量が有意に高められる場合は、基本的には「行為」に係るものとみなされる。しかし、これらの残渣は放射性物質を含むものとして認識されていないことが多く、またその放射能濃度には大きな幅があり、人工放射線源のように免除レベルを設定して規制するのは困難である。さらに、これらの残渣は過去の活動によるものと同様の処理を行っている場合も多く、処分においては区別が困難となる場合もあり、「介入」の対象としての要素もある。

区分 5 の採掘、産業用原材料を用いた産業活動も、人工放射線源の利用と同様に、被ばくが有意に高められる場合は、「行為」と見なされる。ただし、これらの原材料に含まれる自然放射性物質は、放射性物質として作られたものではなく、放射性物質を含むものとして認識しないで用いられていることが多く、またその放射能濃度には大きな幅がある。これら産業利用及び採掘は、放射線の規制の歴史よりも長く、すでに被ばくの経路が存在すると考えられ、これらの原材料を処理する初期過程における被ばくは、区分 4 と同様に「介入」の対象としての一面も持っている。

ICRP Publ.82 によると、商品における「介入」の免除規準として年間およそ 1 mSv が提案されている。1 mSv/年は、「行為」に対する線量拘束値の値としても提案されているので、「行為」と「介入」の両面を持つ、区分 4、5 の対象の物質に対する規制免除の線量規準については、この「介入」の免除のための 1 mSv/年が適切であると考えられる。

区分 4 及び 5 で取り扱う自然放射性物質を含む物質については、一般にその取扱量が大量であり、また、放射能濃度の部分的な変動があることや、物質の産出国や産地の鉱脈、坑道等の違いによっても変動することから、実際に濃度を測定して判断することは、現実には困難であるか、非常に大きな費用の発生が予想される。これらの物質については、免除レベルを設定するのではなく、物質中の放射能濃度の平均値がある一定値を超える可能性のある物質をあらかじめ特定し、この特定された物質を取り扱う場合に実際の作業員や公衆の被ばく線量の評価を行って、その結果 1 mSv/年の線量規準を超える場合に放射線防護上の適切な管理を求めることが適切と考える。ここで、物質を特定するための一定値は、BSS 免除レベルや RP-122 の免除レベルなどを参考にすべきである。

区分 6 の一般消費財の使用については、基本的に「行為」に相当し、人工放射性物質と同じ扱いをすることが考えられる。しかし、これらに含まれる放射能濃度には大きな幅があることや、放射線を意図して使用していないものもあること、さらに、これまで規制対象となっていないために広く普及していることから、一律に BSS 免除レベルを適用するのではなく、合理的かつ適切な規制を行うことが重要である。そこで BSS 免除レベルの濃度かつ放射能を超えるものについては、商品ごとに利用者の被ばくが一般公衆に対する線量拘束値の最大値である 1 mSv/年 (ICRP Publ.82) を下回ることを確認した上で、自然放射性物質が含まれていることの表示や利用者への情報提供など諸外国で採用されている人工放射線源の規制における型式承認に相当する合理化された規制を行うことが適切であると考えられる。

区分 7 は、放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質やラジウム線源など放射線源として使用するものであり、人工放射線源と同様の規制となる。

表5 自然放射性物質を含む物質の分類と対応案

| 区分 | 検討を要する事例 ^{*8} | 除外、行為、介入の区別 | 法令による規制 | 対応の方法 | 対応のための線量の目安/規準 | |
|----|---|------------------------|------------------|--|------------------------------------|-------|
| 1 | 鉱物、鉱石等に含まれる自然放射性物質の比率を高める処理をしていないもの (区分2、3、4、5、6を除く) | 除外 | 対象外 | | | |
| 2 | 過去に廃棄された自然放射性物質を含む残渣 | 介入 | 対象外 | 対策レベル ^h | 今後の検討 (1~10 mSv/年) | |
| 3 | 産業で生成される灰、缶石など (原材料として取り扱う物質は免除レベル濃度以下のもの) | 介入 | 対象外 | 対策レベル | 今後の検討 (1~10 mSv/年) | |
| 4 | 現在操業中の鉱山の残土、産業利用の残渣(処分) | 行為/介入 ^{*9} | 対象 | ・一定濃度を超える可能性のあるものを特定する ・特定物質の利用のうち、作業員または一般公衆が受ける線量に応じ放射線防護上の適切な管理を求める。 | 1 mSv/年 (これを超えたら規制するか、介入するかを検討) | |
| 5 | 産業用原材料 (製造、エネルギー生産、採掘) (区分7を除く) | 行為/介入 ^{*9} | 対象 | 区分4と同様 | 1 mSv/年 (同上) | |
| 6 | 一般消費財 (使用) | 行為 | 商品ごとに対象とするか否かを検討 | 基本的に BSS 免除レベルを適用 型式承認に相当する制度を検討 | 10 μSv/年 ----- 1 mSv/年 | |
| 7 | 放射線を放出する性質等を意図して利用するために精製された核燃料物質や放射線源として使用するもの | 行為 | 対象 | BSS 免除レベルを適用 | 10 μSv/年 | |
| 8 | ラドン | 規制下にあるラジウム線源から発生するラドン | 行為 | 対象 | BSS 免除レベルを適用 | |
| | | 核原料物質鉱山における職業環境のラドン | 行為 | 鉱山保安法の対象 | | |
| | | 住居、一般職業環境におけるラドンで上欄を除く | 介入 | 対象外 | 対策レベル | 今後の検討 |

*8: ここにあげた事例は、文献調査及び自然放射性物質が比較的多く含まれていると考えられるものを実態調査したものについて記載したものである。なお、物質や鉱物の産地、種類、物量等により、自然放射性物質の含有量は異なってくることから、区分4及び区分5については、一定濃度を超える可能性のあるものを特定し、さらに放射線防護の必要があるものについては、適切な管理を求めることとなる。

*9: 基本的には行為であるが、行為と介入の両面を持ち、原材料を取り扱う初期過程は、介入の対象の要素が大きい。

*10: 区分7及び区分8は、今回の基本部会において規制免除に関して検討対象としていない。

^h 対策レベル: 用語解説(付録1)を参照

区分 8 のラドンについては、一般住居及び職場に関する調査の展開を待って、対策レベルを検討することが適切である。

なお、区分 7 及び区分 8 は、今回の基本部会において規制免除に関して検討対象としていない。

自然放射性物質に対する「介入」及びその免除レベルの規定は、その放射能濃度及び取扱量に大きな幅があり、人工放射性物質のように一定の濃度及び放射能レベルとすることは現実的ではない。そこで、「行為」に対する免除の線量規準である年間 $10\mu\text{Sv}$ から「介入」に対する免除の線量規準である年間 1mSv の間で対象となる被ばくを検討すべきである。その際、線量評価に必要となる被ばくシナリオや被ばく経路の選定には客観性や妥当性が確保されていることが必要で、適切なガイダンスに基づいた線量評価を行うことが求められる。

このことから、区分 1、2、3 については、法令による規制の対象とはならないが、区分 4、5、6 については、新たに法令による規制が必要であると考えられる。

5. おわりに

当基本部会は、自然放射性物質の規制免除について、本年 2 月以来、ICRP の勧告や欧州委員会の報告書で示された自然放射性物質の規制に関する考え方を基に、各国の動向、国内の利用実態等も踏まえつつ、被ばく評価を行うなど様々な角度から我が国独自の調査を進めてきた。その結果、物質の状態による区分とそれに適した規制の対応を明らかにし、各区分の特性に応じた規制免除を適用することが適切であるとの結論を得た。今後、関係行政機関において具体的な規制を行うにあたっては、実際の使用状況等を十分に勘案し適切な規制が行われることが望ましい。また、これらの区分と規制免除については、今後の自然放射性物質の利用の展開にも十分耐え得るものと考えられるが、これまでに想定されていない事態が起こった場合には、この考え方をもとに柔軟な規制方法を検討することが望まれる。

自然放射性物質は、人工放射性物質とは異なり、これを含む物質を利用する際に濃度が特定されず、しかも取扱う量が様々であるため濃度や放射能による免除レベルを規定することは困難である。そこで、数量や濃度ではなく被ばく線量に基づいた方法で、規制免除の規準を定める方法を提示した。

今回この報告書においては、自然放射性物質の規制免除における基本的な方針についてまとめたが、実際の規制では、自然放射性物質を含む物質の利用状況やその特性が多種多様であることを鑑み、それぞれの利用形態に応じて被ばくを評価し、放射線障害の防止の観点から適切な措置をとることが重要であり、併せて、関係団体等への説明会やホームページなどを通じ、自然放射性物質に関する正しい知識を十分に普及啓発することが望まれる。

参考資料 1 放射線審議会基本部会名簿

放射線審議会委員（4名）

小佐古 敏莊（部会長）

東京大学原子力研究総合センター助教授

下 道國（部会長代理）

藤田保健衛生大学衛生学部教授

甲斐 倫明

大分県立看護科学大学人間科学講座環境科学研究室教授

篠原 邦彦

核燃料サイクル開発機構東海事業所放射線安全部長

専門委員（7名）

池内 嘉宏

（財）日本分析センター企画室調査役

大越 実

日本原子力研究所東海研究所バックエンド技術部放射性廃棄物管理第1課長

大畑 勉

（財）原子力安全技術センター企画調査部参事

杉浦 紳之

東京大学原子力研究総合センター放射線管理室助手

半田 信吾

茨城県公害技術センター大気部長

古田 定昭

核燃料サイクル開発機構安全推進本部安全計画課長

山本 英明

日本原子力研究所東海研究所保健物理部線量管理課長

参考資料2 放射線審議会委員名簿

放射線審議会委員（18名）

佐々木 康人（会長）

独立行政法人放射線医学総合研究所理事長

中村 尚司（会長代理）

東北大学名誉教授・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター研究教授

石黒 秀治

(財)原子力研究バックエンド推進センター常務理事

大森 佐與子

大妻女子大学社会情報学部教授

甲斐 倫明

大分県立看護科学大学人間科学講座環境科学研究室教授

加藤 正平

日本原子力研究所企画室調査役

日下部 きよ子

東京女子医科大学医学部放射線科教授

久住 静代

(財)放射線影響協会疫学調査センター審議役

小佐古 敏莊

東京大学原子力研究総合センター助教授

篠原 邦彦

核燃料サイクル開発機構東海事業所放射線安全部長

清水 由紀子

(財)放射線影響研究所疫学部副部長

下 道國

藤田保健衛生大学衛生学部教授

西澤 かな枝

独立行政法人放射線医学総合研究所重粒子医科学センター医学物理部医療被ばく防護研究室長

丹羽 太貴

京都大学大学院医学研究科教授

野村 大成

大阪大学大学院医学系研究科教授

廣瀬 勝己

気象研究所地球化学研究部第2研究室長

平敷 淳子

埼玉医科大学放射線医学教室主任教授

吉川 進

東電環境エンジニアリング(株)原子力事業本部長

参考資料3 自然放射性物質の規制免除に関する放射線審議会基本部会の検討経緯

(放射線審議会総会)

平成15年 2月26日 第79回総会

- ・基本部会の検討課題として「自然放射性物質の免除」について審議することを決定

平成15年 9月19日 第82回総会

- ・基本部会報告書(案)を報告

平成15年10月28日 第83回総会

- ・基本部会報告書(案)を了承

(放射線審議会基本部会)

平成15年 3月19日 第10回基本部会

平成15年 4月14日 第11回基本部会

平成15年 4月22日 第12回基本部会

平成15年 4月25日 第13回基本部会

平成15年 6月10日 第14回基本部会

平成15年 7月24日 第15回基本部会

平成15年 8月18日 第16回基本部会

平成15年 9月 8日 第17回基本部会

平成15年10月22日 第18回基本部会

(意見募集)

平成15年9月17日から10月16日まで行われ、12名4団体より37件の質問及び意見を頂いた。

(シンポジウム)

平成15年10月16日 東京

平成15年10月20日 京都

参考資料 4 欧州委員会報告書 RP-122 の概要

欧州委員会報告書 RP-122 第 部「規制免除とクリアランスの概念の自然放射線源への適用」について

1 概要

本報告書は、欧州委員会の専門家グループにより、EU 指令書(96/29/Euratom) (基本安全基準) タイトル に基づいて、鉱石を採掘または処理する産業から生じる物質あるいは自然起源の放射性物質(NORM)を考慮した規制免除レベルとクリアランスレベルを導出するための方法を提案したものである。指令書は、介入と行為に加え、3 番目のカテゴリーとして自然放射線に含むものとして、作業活動 (Work Activity) を導入している。

この報告書の内容は、自然放射線源の規制の方針、自然起源の放射性物質を処理する産業の現状 (表 3 参照)、規制免除とクリアランスの概念適用のための原則、及び一般クリアランスレベルと規制免除レベルの算出方法とその値を示している。これらの値は、鉱石中で通常見いだされる濃度の高いほうの範囲内にあり、規制が実行可能であるとしている。

結論として、以下のとおりである。

- ・ NORM 産業により処理され、放出される物質は、大量であるので、規制免除とクリアランスの概念は一緒になり、それらは 1 組のレベルを定めることが適切である。
- ・ 作業活動に対する規制免除とクリアランスの基本概念と規準は、行為に対するものに似ているが、行為の線量規準(10 μ Sv/年)を基礎にしてレベルを定めることは意味がない。バックグラウンド被ばくに加わる 300 μ Sv/年のオーダーの線量増加分とするのが適切である。

2 線量規準

自然線源に対する値の規定は、基本安全基準の付属書 の中で確立されている「取るに足らないリスクの規準」に基づいて進めることができない。作業活動に対しては、個人の年間被ばくは 10 μ Sv よりずっと高いことがあり、また集団線量が非常に重要になりうる。10 μ Sv で制限を課すならば、実際、自然の変動以下の、自然放射線バックグラウンドに対しそのような小さい増加を管理体系に適用することは一般に不可能であろう。したがって、自然起源の放射性核種に対する規制免除 - クリアランスレベルは、行為に対するよりも高い線量レベルに設定すべきであり、年間 300 μ Sv の規準を提案する。

この規準は、以下の理由で正当化される。

- ・ 自然放射線バックグラウンドからの全実効線量の地域的変動と同程度か、それより小さい (外部被ばくのみ)
- ・ 建築材料に対して提案された規制免除レベル (RP-112) と一貫している。
- ・ 廃液の管理に対して役立つように考えられているいかなる線量拘束値 (行為に対して ICRP により勧告されている 300 μ Sv、作業活動に対してはさらに高い 1 mSv) と一貫している。

行為による被ばくは高い潜在リスクを考慮する必要性があるのに対し、作業活動は自然放射線による被ばくの通常における高い変動性を考慮すればよい。よって作業活

動による被ばくにおいては、取るに足りない被ばくはそれ程意味がなく、被ばくが容認できるレベルに対応するならば、放射能レベルは適切である。

3 線量計算

・シナリオの選択と被ばく経路

NORM 作業活動に対する一般的なシナリオは、制限的なケースに対しては、行為に対するよりもっと堅固である。

リサイクル

- 長距離 / 短距離輸送 (作業者)
- 中量の屋内貯蔵 (作業者)
- 大量の屋外貯蔵 (作業者)
- NORM を含む道路建設 (作業者)
- NORM を含む建材を用いる建築 (作業者)
- 希釈されてない NORM を用いる建築 (作業者)
- 公共の場所 / 運動場の表層の NORM (一般公衆)
- NORM を含む建材による家の住人 (一般公衆)
- 希釈されていない NORM を用いた家の住人 (一般公衆)

処分

- 長距離 / 短距離輸送 (作業者)
- 山積みまたは埋立による処分 (作業者)
- 山積みまたは埋立の近くの家の住人 (一般公衆)

NORM のタイプ

- 岩石廃棄物
- 灰
- 砂
- 鉍滓
- 石油 / 天然ガスからのスラッジ

・計算結果

表 1 各タイプの NORM の規制免除レベル / クリアランスレベル (kBq/kg)

| 核種 | 岩石廃棄物 | | 灰 | | 砂 | | 鉍滓 | | スラッジ | |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 作業者 | 公衆 | 作業者 | 公衆 | 作業者 | 公衆 | 作業者 | 公衆 | 作業者 | 公衆 |
| U-238sec | 0.65 | 0.43 | 0.68 | 1 | 0.68 | 0.43 | 0.49 | 0.43 | 5.6 | 70 |
| Unat | 5.2 | 28 | 5.2 | 29 | 5.2 | 30 | 5.2 | 33 | 85 | 1900 |
| Th-232sec | 0.45 | 0.3 | 0.49 | 0.72 | 0.49 | 0.3 | 0.35 | 0.3 | 3.9 | 53 |
| Th-232 | 5.4 | 3.1 | 5.4 | 16 | 5.4 | 28 | 5.4 | 22 | 100 | 290 |
| K-40 | 8.3 | 4.2 | 9.9 | 10 | 9.7 | 4.2 | 6.6 | 4.2 | 78 | 1700 |

親核種の計算に含まれる核種

U - 238sec : U-238, Th-234, Pa-234m, Pa-234(0.3%), U-234, Th-230, Ra-226, Rn-222, Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214, Pb-210, Bi-210, Po-210

Unat : U-238, Th-234, Pa-234m, Pa-234(0.3%), U-234, U-235,(4.6%), Th-231(4.6%)

Th-232sec : Th-232, Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Po-212(64.1%), Tl-208(35.9%)

Th-232 : Th-232

NORM 産業における放射能濃度の分布はあまり幅広くないので、数値の端数を処理することの経済的意味合いは重大である。有効数字 1 及び 5 へ端数を処理することが、より厳しい対数目盛りで端数を処理することが適当であると結論された。

$$7.07 \times 10^{n-1} < x < 2.24 \times 10^n \quad 1 \times 10^n$$

$$2.24 \times 10^n \quad x \quad 7.07 \times 10^n \quad 5 \times 10^n$$

表 2 自然放射性物質の免除レベル/クリアランスレベル(丸めた値) (Bq/g)

| 親核種 | すべての物質 | 石油/ガス産業等の湿ったスラッジ |
|-----------|--------|------------------|
| U-238sec | 0.5 | 5 |
| Unat | 5 | 100 |
| Th-232sec | 0.5 | 5 |
| Th-232 | 5 | 100 |
| K-40 | 5 | 100 |

表 3 : 自然起源の放射性核種の高められた濃度をもつ物質に係わることのある産業の例

| 産業/生成物 | 放射性核種及び代表的な放射能濃度 |
|-----------------------------|---|
| リン酸塩産業(肥料製造) リン酸(洗剤及び食品) | 副産物石膏: 1 kBq/kg Ra-226 高濃度の Ra (100 kBq/kg) はプラント中で沈澱することがある(缶石) |
| 硫酸製造 | 黄鉄鉱: > 1 kBq/kg を含む鉱滓 |
| 炭坑の脱水プラント | スラッジは 50-100 kBq/kg を含むことがある(処分) |
| 石炭及びフライアッシュ | フライアッシュ: 代表的には 0.2 kBq/kg U, Th 10 kBq/kg までのレベルが特別な状況で報告されていた。建築材料としてのフライアッシュの再使用 |
| 金属製造: 精練所 | 放射能がスラグ及び炉粉じん中に濃縮することがある。廃棄物 (~100 kBq/kg) の再使用 |
| マグネシウム/トリウム合金 | 最終製品の合金中で最高 4 % Th 原料合金中の代表値 20 % Th |
| 希土類: モナザイト砂の処理、その他 | セリウム、ランタン、その他の希土類鉱石: 最高 10 kBq/kg U、最高 1000 kBq/kg Th 廃棄物の流れ及び粉塵中の放射能は非常に高いことがある |
| 鑄造砂 | ジルコン砂 (1-5 kBq/kg) モナザイト砂 (最高 1000 kBq/kg) |
| 耐火材、研磨材、セラミック | ジルコニウム鉱物: 5 kBq/kg U, 1 kBq/kg Th |
| 石油/ガス産業 | 缶石中のラジウム (通常 1-100 kBq/kg、しかし、最高 4000 kBq/kg) Th 及び壊変核種 (最高 50%) もおそらくそうである |
| TiO ₂ 顔料産業 | 原材料物質: チタン鉄鉱及びルチル: 1 kBq/kg U, Th ; 5 kBq/kg までの廃棄物の流れ |
| トリウム溶接棒及びガスマントル | トリウム溶接棒: 最高 500 kBq/kg ; トリウムガスマントル: 酸化トリウム 95 % |

| | |
|-------------|--|
| 陶歯 | 最高 0.03 % U |
| 光学産業及びガラス製品 | <p>ある種の研磨粉中の希土類化合物（例えばセリウム）： Th, U</p> <p>ある種のガラス製品：最高 10 %の U または Th.</p> <p>眼鏡及び接眼鏡用 の光学ガラス：着色のため U または Th を添加。ある種の光学レンズ：Th 最高 30% ;</p> <p>ある種のレンズコーティング物質。</p> |

参考資料 5 海外における規制の現状

(1) 英国

放射性物質の放出についての規制は、環境庁（イングランド、ウェールズ）、スコットランド環境防護庁（スコットランド）、環境汚染及び放射化学物質管理局（北アイルランド）が行っている。また、使用・保管・輸送については環境輸送地方省（DETR）が、職業被ばくについては保健安全執行部（HSE）が規制している。

自然放射性物質の免除レベルは、1993年に制定された放射性物質法（RSA93）に基づいた定義数量を用いており、固体のトリウムは 2.59 Bq/g、固体のウランは 11.1 Bq/g である。例外として免除されるものは、リン酸塩、希土類、または自然放射性元素のみが含まれる物質であって、各元素の濃度が 14.8 Bq/g を超えない固体/液体、濃度が 37 Bq/g を超えない合金などである。さらに、条件付でリン酸肥料、地質標本、ウラン・トリウム、鉛などが免除対象となっている。

(2) フランス

政令 2001-270 及び州議会令 2002-460 により自然放射性物質の産業利用についての規制は、地方政府（環境保護規制部局）が行っている。

免除レベルは、1 トン未満のものは BSS 免除レベルで、それ以上の物量の利用については、場合に応じて線量評価を行い、1 mSv/年の線量規準で、規制対象としており、作業従事者の被ばく線量が 1 mSv/年（ラドンを除く）を超える場合は届出が必要となる。規制内容は、作業者の線量評価があるレベル（2003年5月現在まだ決っていない）を超えた場合に環境への影響評価を行う義務を課すとしている。

(3) ドイツ

2004年1月から施行する放射線防護令に基づき、輸送を除き、連邦環境・自然保全・原子力安全省で規制される。線量規準は、核燃料物質については 10 μ Sv/年、それ以外の自然放射性物質については 1 mSv/年としている。

U-238 系列核種、Th-232 系列核種を含む放射性残渣については、各放射性核種の比放射能が 0.2 Bq/g 以下では基本的に規制対象としない。監視レベルとしては、放射性残渣の再利用について、利用場所ごとに 0.5 ~ 5 Bq/g まで、また、集積においては、面積及び立地条件により 0.05 ~ 1 Bq/g まで段階的に規定されている。

作業者については、年に 6 mSv（ラドンを含む）を超えて被ばくするような場合、3 ヶ月以内に担当部局に報告するよう義務付けられており、届出を必要とする作業者の線量限度は、年に 20 mSv/人、総従業員で 400 人・mSv と規定されている。

作業活動に伴う放射性物質の排気及び排水に係る規制は規定されていない。

(4) 米国

自然放射性物質の規制は、放射線防護法令 10CFR Part 20 に規定されているほか、自国の検討結果によって設定した基準に基づいて、自然放射性物質の種類や存在形態ごとに個別^{*}に行われているものがある。BSS 免除レベルは現時点では法令に取り入れられていない。

- * : 大気汚染規準 40CFR Part 61 「リン鉱石起源の石膏堆積物から放出されるラドンの規制」
飲料水規準 40CFR Part 141 「飲料水中のラジウムやウランの規制」
ルイジアナ州規準 「油田・ガス田の缶石の規制」

(5) カナダ

原子力安全管理令(2000年)第10条において、自然放射性物質については、原子力エネルギーの開発、生産及び使用に関わるもの、また、核物質の輸送、核不拡散に関わる輸出入を除き、すべての規制から免除されるとしている。

核物質及び放射性機器に関する法規(2000年)において、約110核種に 1×10^4 の形で放射性物質の放射能の免除量を定めており、濃度の規定はない。ウランに対しては天然ウランのみを定義し、飛散しやすい形状に10 kBq、飛散しにくい形状に10 MBqの値が与えられている。トリウムはTh-232のみ免除量が規定され、その値は100 Bqとなっている。ウランの壊変核種のうちRa-226、Po-210、Bi-210について免除量が規定されている。免除量の表に載っていない核種については、 α 線を放出しないものは10 kBq、原子番号が82(鉛)より大きくて β 線を放出するものは500 Bqとなっている。

(6) オーストラリア

オーストラリアにおける放射線関連の規制は、州ごとに規定されているために、国として統一的な値がなく州により違いがある。

いずれの州においても、自然放射性物質の規制に対する考え方はほぼ同様で、使用目的、分野を問わず、ある値以上の物質は規制対象としている。規制対象となる産業分野の具体例としては、ウラン、トリウムに限らず金属や石炭の鉱業(ボーキサイトからアルミナをとった残土である赤泥)、石油・天然ガス、リン酸肥料、建材などが挙げられる。

(7) 中国

環境保護法の下に放射性物質による汚染の防止と修復に関する法が制定され、放射性物質の管理が行われている。

放射線源と行為の規制からの免除についての原則(1992年)により人工放射性物質を5グループに分け免除レベルを決めているが、自然放射性物質に対する規定はない。

原子力施設の鉄鋼及びアルミニウムのリサイクル及び再使用のためのクリアランスレベル(1998年)についても人工放射性核種に対する規制値はあるが、自然放射性物質についての定めはない。

電離放射線に対する防護と線源の安全についての基本基準(2003年)によりBSS 免除レベルを基本的に全て(自然物を含む)取り入れるが、次の条件がある。

このレベルは免除の適用のためにあるのであって、免除は規制当局により認可されなければならない、自由には行えない。

規制当局は、状況によりいくつかのそれよりも低い(1より小さい数を乗ずる)免除レベルを使うことを要求できる。これは、BSS 免除レベルが少量の物質の使用を想定しているためである。

付録1 用語解説

本用語解説は、本報告書内で使用されている用語について本文の内容の理解を助けるために解説したものであり、学術的や専門的な用語の定義を厳密に示したのではなく、一般的な用語解説と異なる場合がある。ただし、出典が記載されているものは、この限りではない。

あ 行

「一般消費財」(Consumer goods)

本報告書では、自然放射性物質を含むことにより被ばくを生じうるような機器製品をいう。これらの機器製品は、コンシューマグッズ (Consumer Goods)、コンシューマプロダクト(Consumer Products)、コモディティ(Commodity)などの用語で呼ばれている。

「永続平衡」(Secular equilibrium)

親核種の半減期が、娘核種の半減期に対して、十分に長い場合は、その親核種の放射能が変化しないような期間での観察では、娘核種の放射能も変化せず、親核種のそれと等しくなる。このような状態を永続平衡という。例えば、自然に存在するトリウム系列の核種については、親核種の Th-232 の半減期が約 1.4×10^{10} 年であり、その壊変後に生成する核種の半減期がこれに比べて十分短いので永続平衡の状態となっているので、同じ場所に存在する娘核種の放射能は、親核種の放射能に等しい。

か 行

「介入」(Intervention)

“放射線被ばくを低減させる人間活動”と定義され、特にすでに存在している放射線源からの被ばくを低減するために実施される活動をいう。被ばくは、放射線源が環境に存在し、そこへ人が立入る一連の過程で生ずるが、介入はこの線源から被ばくへと至る過程がすでに存在している場合(すなわち、事象が発生した後)に講じられる低減措置である。介入が適用される事象として、自然放射線源である高濃度の屋内ラドンや過去の活動に起因する残留放射能などで公衆が被ばくする状況、屋内退避・避難などの対策がとられる事故・緊急事態発生時等がある。

「介入の免除」(Intervention exemption)

「介入免除レベル」(Intervention exemption level)

介入の免除とは、すでに存在する線源からの被ばくによる健康に対するリスクが無視できることから、介入を行う必要がないことをいう。

ICRP は、1990 年勧告において特に国際貿易の際に不必要な制限を避けるために、輸出入が自由に許されるものと、放射線防護についてのある制限の対象となる境界線を示すレベルとして介入免除レベルを提案した。ICRP Publ.82(1999)において、このレベルは長期被ばくを含む公衆が使用する商品にも適用できることが示された。レベルに対応する個人線量規準として、主な商品については、およそ 1 mSv/年 であるが、建材や食品など生活に欠かせないものは、これらと同じ規準を使うべきではなく、消費財を使用する行為についての免除については、国際的に数十 μSv の線量規準が用いられることも、考慮するように言及している。

「壊変生成物」(Decay Products)

ある放射性核種が、放射性壊変により他の核種に壊変する場合において、元の核種を親核種と呼び、壊変後の核種を娘核種(Daughter)、子孫核種(Progeny)または壊変生成物(Decay Products)と呼ぶ。

「缶石」(scale)

液体中の塩が析出して配管やタンクなどに付着した物

「規制免除」(Exemption)

ある放射線源について、それによる健康への影響が無視できるほど小さく、放射性物質として扱う必要がないことから、当該放射線源について放射線防護に係る規制の対象としないことをいう。これらの放射線源には、研究用のトレーサー、校正線源等の少量のものや、極僅かの放射性核種を含む一般消費財のような低濃度のものがある。これらの放射線源に起因する線量は、自然界の放射線レベルと比較しても十分小さい。免除の判断基準となる放射性物質の放射能及び濃度を「免除レベル」という。

「行為」(Practice)

ICRP1990年勧告では、「個人の被ばくや被ばくする個人の数を増やすなど全般的に放射線被ばくを増やす人間の活動」と定義されている。本報告書では、この定義で用いる。

さ 行

「サーベイメータ」(Survey meter)

放射線の量を測って空間の線量当量率やものの表面の放射能を求める測定器である。放射線の種類や使用目的に合わせて様々な種類のサーベイメータが製造されている。主なものを示す。

・電離箱式サーベイメータ

プラスチックなどで作られた円筒形の容器にアルゴンガスなどを入れ、中心電極と壁材の間に電圧を加えておき、通過した放射線により生じた電流を測るもので、 $1 \mu\text{Sv/h} \sim 3 \text{Sv/h}$ の範囲で低エネルギーX線、 β 線、 γ 線が測定可能である。

・GM式サーベイメータ

円筒形の内部にヘリウム、アルゴンなどの不活性ガスを封入し、中心電極と壁材の間に700~1000Vの直流電圧を加え、壁材と反応した放射線が起こした放電によるパルスを計測するもので、比較的感度が高く、応答も速いが、放電が消滅するまでの時間や放電の大きさがもとに戻るまでの時間がかかるため、高い線量当量率の測定は注意が必要。

・シンチレーションサーベイメータ

微量のタリウム(Tl)を含むヨウ化ナトリウム(NaI)の結晶(シンチレータ)を検出部とし、検出部に入射した放射線による微発光を増幅して放射線量を測定するものである。感度が高いため $0.01 \mu\text{Sv/h} \sim 100\text{mSv/h}$ の範囲で自然放射線の変動レベルが測定可能である。

「除外」(Exclusion)

自然界に存在する放射線源による被ばくのように、制御できず、規制の対象としてなじまない被ばくを、規制の対象にしないことをいう。宇宙線や自然放射性物質(土壌、空気等に含まれるウラン、ラドン、カリウム-40等)による被ばくの大部分は、規制のしようがないか、または規制をしても効果がほとんどないことから、除外が適用される。

「実効線量」(Effective dose)

確率的影響が発生する確率は、人体が受ける被ばく線量とともに増加するが、単純に物理的な被ばく量と比例するわけではなく、同じ線量であっても人体のどの臓器に被ばくするか、また部分的な被ばくや全身的な被ばくによって影響の発生確率が異なる。ICRPは、これらを考慮するために導入した線量概念が実効線量である。その定義は、下に示すように、被ばくしたすべての臓器の等価線量(用語解説参照)にその臓器についての組織荷重係数という係数を乗じた値を全身について総和した値である。

$$E = \sum w_T \cdot H_T$$

ただし、 E ：実効線量、 w_T ：臓器Tの組織荷重係数、 H_T ：臓器Tにおける等価線量

各臓器は同じ線量を受けても、その影響の発生頻度は異なるため、その程度で荷重した組織荷重係数をあらかじめ規定している。この値は、例えば生殖臓器は0.2、骨髄、肺、胃などは0.12、である。実効線量の単位は等価線量と同じ、Sv(シーベルト)を用いる。

「線量拘束値」(Dose constraint)

ICRP1990年勧告で導入した概念で、ある線源に対する放射線防護方策を検討する場合に、その線源からの被ばく線量をできる限り低く(最適化)するための目標となる制限値のことである。線量限度は、規制の対象となる関連するすべての行為による個人の被ばく線量の合計についての限度であるのに対し、線量拘束値は、ある一つの行為に関係する特定の線源により与えられる線量の制限に用いられるものである。例えば、ある公衆に対して、複数の事業所の活動が被ばくを与える場合に、その公衆の線量限度である1 mSv/年をある割合でそれぞれの事業所で割り振って制限を行うが、その割り振り値が線量拘束値である。

た 行

「対策レベル」(Action level)

対策レベルとは、その値以上で実施した防護対策が介入を正当化するのに十分大きな線量を低減できるような値である。例えば、食物消費の制限あるいは家屋内のラドン低減措置のようないろいろな防護対策にあてはまる。

な 行

「NORM」(Naturally Occurring Radioactive Materials)

自然起源の放射性物質で、詳細な定義としては、自然に存在する放射性核種を含み、それ以外の放射性核種について有意な量を含まない物質のことである。(IAEA Safety Glossary,2000 による)

は 行

「バックグラウンド」(Background)

バックグラウンドとは、注目する放射線源以外のすべての線源による線量や線量率のことである。自然バックグラウンドは、制御ができない自然放射線源または他の環境のいかなる線源からの線量や線量率を示す。(IAEA Safety Glossary,2000 による)

「比放射能」(Specific Radioactivity)

比放射能とは、放射性同位元素を含有する物質の単位質量当たりの放射能の強さを表わす。単位として、放射能の強さを Bq で表わし、その元素または物質 1g 当たりの放射能とする。

単体の比放射能とは、単一の元素に対する比放射能を示す。

「放射能」(Activity, Radioactivity)

放射能は、専門的には以下の 2 通りの意味で用いられる。

- (1) 単位時間あたりの放射性壊変数を示し、その単位は、Bq (ベクレル) が用いられる。1 秒間に 1 回放射性壊変を起こす場合に放射能が 1 Bq であるという。
- (2) 放射性物質が放射線を放出する性質を意味する。

また、一般的には、放射能が放出されるというように、放射性物質と同じ意味で用いられることもある。

本報告書では、全般にわたり(1)の意味で用いている。

や 行

「誘導プラズマ質量分析装置」(Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer)

試料中の原子または分子をイオン化し、その質量ごとに数を計測する高感度・高性能の溶液中無機元素分析装置をいう。イオン源としての ICP 部とそのイオンを分離・測定する MS (質量分析) 部から構成される。検出限界が非常に低く、ppt (1 兆分の 1) レベルまでの定量が可能となっている。