

ICRP

Publication 122

長寿命放射性固体廃棄物の 地層処分における 放射線防護

公益社団法人

日本アイソトープ協会

長寿命放射性固体廃棄物の 地層処分における 放射線防護

2012年4月 主委員会により承認

公益社団法人
日本アイソトープ協会

ICRP
Publication 122

Radiological Protection in Geological Disposal of
Long-lived Solid Radioactive Waste

Editor-in-Chief

C.H. CLEMENT

Associate Editor

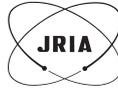
M. SASAKI

Authors on behalf of ICRP

W. Weiss, C-M. Larsson, C. McKenney, J-P. Minon, S. Mobbs,
T. Schneider, H. Umeki, W. Hilden, C. Pescatore, M. Vesterlind

Copyright © 2017 The Japan Radioisotope Association. All Rights reserved.
Authorised translation from the English language edition published for
the International Commission on Radiological Protection by Elsevier Ltd.
Copyright © 2013 The International Commission on Radiological Protection
Published by Elsevier Ltd. All Rights reserved.

*No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or
transmitted in any form or by any means electronic, electrostatic, magnetic tape,
mechanical photocopying, recording or otherwise or republished in any form,
without permission in writing from the copyright owner*



Japanese Translation Series of ICRP Publications
Publication 122

This translation was undertaken by the following colleagues.

Supervised by

Toshimitsu HOMMA

Translated by

Minoru OHKOSHI

Editorial Board

The Committee for Japanese Translation of ICRP Publications,
Japan Radioisotope Association

working in close collaboration with Japanese ICRP & ICRU members.

◆ Committee members ◆

Ohtsura NIWA (Chair; ICRP, MC)	Keiko IMAMURA (Vice-chair)	
Reiko KANDA	Michiya SASAKI	Yasuhito SASAKI*
Gen SUZUKI	Michio YOSHIZAWA	

◆ Supervisors ◆

Nobuhiko BAN (ICRP, C1)	Nobuhito ISHIGURE* (ICRP, C2)
Akira ENDO (ICRP, C2)	Yoshiharu YONEKURA (ICRP, C3)
Michiaki KAI (ICRP, C4)	Toshimitsu HOMMA (ICRP, C4)
Kazuo SAKAI (ICRP, C5)	Hideo TATSUZAKI† (ICRU)

* Former ICRP member. † Former ICRU member.

邦訳版への序

本書はICRPの主委員会によって2012年4月に承認され2013年6月に刊行された、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分から生じる可能性のある害から人間および環境を防護することに関する専門的助言

Radiological Protection in Geological Disposal of
Long-lived Solid Radioactive Waste
(Publication 122. *Annals of the ICRP*, Vol. 42, No.3 (2013))

を、ICRPの了解のもとに翻訳したものである。

翻訳は、大越実氏（(国)日本原子力研究開発機構バックエンド技術部）によって行われた。この訳稿をもとに、ICRP 勧告翻訳検討委員会において推敲を重ね、ICRP 第4専門委員会の本間俊充氏の監修をいただいて、最終稿を決定した。原著の記述に対する疑問は原著者に直接確認し、誤りと判明した場合は修正し、読者の理解のため必要と思われる場合は訳注を付した。

本書は、「ICRP 81 長寿命放射性固体廃棄物の処分に適用する放射線防護勧告」のICRP 2007年勧告に基づく改訂版である。

長寿命放射性固体廃棄物の処分に放射線防護体系を適用するにあたっては、関連の要素群を長大な時間枠の中で考え判断しなければならない。例えば、処分施設に対する「監視」がそうである。本書では、地層処分施設の寿命期間を操業前段階、操業段階および操業後段階に分け、さらに、各段階において施設に対してなされる監視の程度と内容に応じ、操業段階を「直接監視期間」、操業後段階を「間接的監視期間」と「無監視期間」に区分している。また、各期間において想定される処分施設の状況（設計基準変遷、設計基準外の変遷または不注意による人間侵入）に対応した放射線防護の概念と原則の適用の考え方を示している。

これらの考え方を深く理解し、将来世代の防護に役立てる助けとなることを願って、この1冊を送り出すものである。委員会事情により刊行まで年月を経たが、大越氏の綿密なご翻訳と関係各位のご尽力に衷心の感謝を申し上げたい。

平成 29 年 3 月

ICRP 勧告翻訳検討委員会

(公社)日本アイソトープ協会
ICRP 勧告翻訳検討委員会

委員長 丹羽 太貫 (ICRP 主委員会, (公財)放射線影響研究所)
副委員長 今村 恵子 (前 聖マリアンナ医科大学)
委員 神田 玲子 ((国)量子科学技術研究開発機構)
佐々木道也 ((一財)電力中央研究所)
佐々木康人 (湘南鎌倉総合病院附属臨床研究センター)
鈴木 元 (国際医療福祉大学クリニック)
吉澤 道夫 ((国)日本原子力研究開発機構)

監 修 者

伴 信彦 (ICRP 第 1 専門委員会, 原子力規制委員会)
石樽 信人 (前 ICRP 第 2 専門委員会, 名古屋大学)
遠藤 章 (ICRP 第 2 専門委員会, (国)日本原子力研究開発機構)
米倉 義晴 (ICRP 第 3 専門委員会, (国)量子科学技術研究開発機構)
甲斐 倫明 (ICRP 第 4 専門委員会, 大分県立看護科学大学)
本間 俊充 (ICRP 第 4 専門委員会, (国)日本原子力研究開発機構)
酒井 一夫 (ICRP 第 5 専門委員会, 東京医療保健大学)
立崎 英夫 (前 ICRU 委員, (国)量子科学技術研究開発機構)

抄 録

本報告書は、固体廃棄物処分に関連した国際放射線防護委員会（ICRP）のこれまでの勧告（ICRP, 1985, 1997 b, 1998）を更新し、統合したものである。この勧告は、特に長寿命放射性固体廃棄物の地層処分に適用される。本報告書は、*Publication 103*（ICRP, 2007）に記述されているICRPの放射線防護体系を長寿命放射性固体廃棄物の地層処分にどのように適用できるかを説明している。報告書は単独の文書として作成されているが、本報告書で詳細に取り扱われていない既存のICRP勧告は引き続き有効である。

2007年のICRPの放射線防護体系は、行為と介入の区別に力点を置いた従来のプロセスに基づく防護アプローチから、計画被ばく状況、緊急時被ばく状況、現存被ばく状況という3種類の被ばく状況の区別に基づくアプローチへと移行することによって進展している。2007年勧告は、正当化、防護の最適化および線量限度の適用という委員会の3つの放射線防護基本原則を維持している。また、計画被ばく状況におけるすべての規制された線源からの実効線量と等価線量に対する現在の個人線量限度を維持している。同勧告では、放射線防護の最適化の原則をより強調しており、最適化の原則は、個人線量に対する制限が変わる（すなわち、計画被ばく状況においては線量拘束値、緊急時被ばく状況と現存被ばく状況には参考レベル）ものの、すべての被ばく状況に対してほぼ同じように適用される。2007年勧告には、環境の放射線防護を実証するための枠組みを開発するためのアプローチも含まれている。

本報告書は、地層処分施設の寿命期間中のさまざまな段階について記述し、そして、生じる可能性のある多様な被ばく状況に応じた、各段階に対する関連する放射線防護原則の適用について解説している。特に、処分施設の寿命期間の各段階における防護体系の適用に影響を及ぼす決定的な要素は、その時点で存在する監視、すなわち「注意深い配慮」のレベルである。監視のレベルは、線源、すなわち廃棄物と処分場を管理し、潜在被ばくを回避または低減する能力に影響を及ぼす。3つの主要な時間枠が想定されている。すなわち、処分施設が操業中であり、処分施設が能動的な監督下にある**直接的監視期間**、処分施設が密閉された場合に、社会を代表して、さらなる保証を提供するために規制当局もしくは特別な行政機関、または社会全体によって監視が行われる**間接的監視期間**、処分施設の記憶が失われ、監視がもはや行われない**無監視期間**である。

キーワード：地層処分、放射性廃棄物、将来世代の防護

目 次

	頁	(項)
抄 録	(iii)	
論 説	(vii)	
序 文	(ix)	
要 点	(xi)	
総 括	(xiii)	
用語解説	(xvii)	
1. 緒 論	1	(1)
2. 範 囲	3	(9)
3. 将来の世代を防護するための基本的価値観, 原則および戦略	5	(14)
3.1 将来の世代を防護するための価値観	5	(14)
3.2 放射線防護原則	5	(18)
3.3 長寿命放射性固体廃棄物管理の戦略	6	(22)
3.3.1 処分施設の各段階と安全解析プロセス	7	(26)
3.3.2 放射線防護に関連性のある時間枠	10	(35)
4. 地層処分施設の存続期間中の ICRP 防護体系の適用	13	(41)
4.1 被ばく状況	13	(42)
4.2 基本的な放射線防護原則	14	(44)
4.3 線量とリスクの概念	15	(45)
4.4 操業段階での防護	16	(49)
4.5 操業後段階の防護	16	(51)
4.6 特定の状況での防護	18	(56)
4.6.1 自然の破壊的事象	18	(56)
4.6.2 不注意による人間侵入	19	(62)

(vi) 目 次

4.7 監視に対応する被ばく状況の概要	21	(67)
4.8 防護の最適化と利用可能な最善の技術	22	(69)
4.9 技術上および管理上の原則と要件	25	(87)
5. エンドポイントの考慮事項	27	(91)
5.1 代表的個人	27	(91)
5.2 環境防護	28	(96)
6. 結 論	31	(101)
参考文献	33	

論 説

放射性廃棄物管理における放射線防護：長期的展望

本刊行物は、放射線防護コミュニティと廃棄物管理コミュニティの共同の取り組みとして作成された。この共同作業は、十分な情報を含んだ有用な刊行物をもたらしただけでなく、基本的概念と使用される言語についての共通理解を促進することによって、これらの2つのコミュニティの関係をより緊密なものにした。

放射性廃棄物の処分は、多くのICRP刊行物において、核燃料サイクルの他のどの段階よりも主要なテーマである。これは、おそらくテーマの重要性だけでなく、特殊で難しい放射線防護の考察が伴うことを反映している。

本論ではないが、放射性廃棄物に初めて言及したのは、*Publication 7* (ICRP, 1966)であった。放射性廃棄物処分問題に特化したICRPの最初の刊行物である*Publication 46*は、その20年後に発行された (ICRP, 1985)。同刊行物では、放射性廃棄物処分のための放射線防護の2つの特徴、すなわち、将来の被ばくの確率論的性質と関係する長期の時間的尺度が明確化された。これらの課題は、*Publication 77* (ICRP, 1997 b)、*Publication 81* (ICRP, 1998) および本刊行物でも重要な課題であり続けている。

放射性廃棄物管理に関係する長期の時間的尺度が、防護の適切なレベルの評価を複雑にしており、長期的な線量とリスクの関係に疑問を投げ掛けている。*Publication 103* (ICRP, 2007) では、この困難さを認めており、「線量推定値は、今後数百年程度を超える期間の後の健康損害の尺度と見なすべきでない。むしろ、それは、処分のシステムによって与えられる防護の指標を示している」と指摘している。

本刊行物は、放射性廃棄物管理に関連した以前の刊行物に立脚し、*Publication 103* (ICRP, 2007) の現在の放射線防護体系を地層処分に適用している。ここで、鍵となる倫理原則は、将来世代の防護の原則である。地層処分には、社会の変遷を合理的に予測することができないほどの時間的尺度が関係する。したがって、一方では、社会的状況と社会的期待の変遷を推定することは不可能であるが、他方では、現在の世代は、将来の世代に対し合理的な水準の防護を提供する道徳的義務を負っている。こうした難題が存在することを踏まえれば、最も適切と思われるのは、「将来の個人及び集団が、少なくとも、現在世代と同水準の防護を与えられるべきであるという基本原則」(ICRP, 1998) を拠り所にするのである。

(viii) 論 説

さらに、本刊行物は、廃棄物管理と処分の異なる段階ごとに、監視、すなわち「注意深い配慮」という概念を導入している。これは極めて重要な要素であり、長期間にわたって放射線防護体系をどのように適用するかということに影響を及ぼし、モニタリングだけでなく、行動と計画の履行についての意思決定でも参照される。

本刊行物は、放射線防護コミュニティと廃棄物管理コミュニティの連携の終点ではなく、むしろ、さらなる議論と協力に向けた初期段階である。他の種類の廃棄物および管理オプションでは、作業員、公衆および環境の防護のために異なるアプローチが必要となるだろう。したがって、本報告書は、廃棄物管理の課題に関する ICRP の最終的な見解ではない。これまでのところ正式な決定は行われていないが、他の放射性廃棄物と管理オプションを取り上げるため姉妹編の報告書を作成する共同作業が近々検討されることになっている。

ICRP 事務局長／編集長
CHRISTOPHER H. CLEMENT

序 文

2010年1月21日、国際放射線防護委員会（ICRP）主委員会は、*Publication 103*（ICRP, 2007）に示された勧告を長寿命放射性固体廃棄物の地層処分にどのように適用することができるかを述べる報告書を作成するため、第4専門委員会へ報告を行う新たな課題グループの設置を承認した。本報告書は、人間（職業的に被ばくする作業者と公衆の構成員）と環境の両方の防護を取り上げ、万が一、廃棄物システムの管理が失われた場合の計画被ばく状況から現存被ばく状況への移行や、意思決定支援の目的で遠い将来について推定される線量の適用可能性などの重要な問題について検討するものとする。本報告書は、*Publication 81*（ICRP, 1998）を更新し、以下の点についてのガイダンスも提供するものとする。

- 基本的概念と用語。例えば、放射線防護原則、さまざまなタイプの被ばく状況、線量拘束値とリスク拘束値、参考レベル
- 防護の最適化の性質と役割：段階的アプローチ、短期と長期の対比
- 線量評価の単位と概念の使用と適用：線量拘束値とリスク拘束値、潜在被ばく、集団線量
- 計画と開発のさまざまな段階におけるステークホルダー関与の役割

課題グループのメンバーは以下のとおりである：

W. Weiss（議長）	C-M. Larsson	C. McKenney
J-P. Minon	S. Mobbs	T. Schneider
H. Umeki		

通信メンバーは以下のとおりである：

W. Hilden	C. Pescatore	M. Vesterlind
-----------	--------------	---------------

本文校訂をした第4専門委員会のレビューアーは以下のとおりである：

P. Carboneras	A. Janssens
---------------	-------------

主委員会のレビューアーは以下のとおりである：

A. Gonzalez	R. Pentreath
-------------	--------------

(x) 序 文

本課題グループは、会合開催に関して尽力および支援を頂いた組織とスタッフに感謝したい。これらの組織は、ドイツ連邦放射線防護庁 (BfS)、オーストラリア放射線防護・原子力安全庁 (ARPANSA)、米国原子力規制委員会 (NRC)、ベルギー放射性廃棄物・濃縮核分裂性物質管理機関 (ONDRAF/NIRAS)、英国健康保護局 (HPA)、フランス原子力防護評価研究所 (CEPN)、日本原子力研究開発機構 (JAEA)、欧州委員会 (EC)、経済協力開発機構原子力機関 (OECD/NEA) および国際原子力機関 (IAEA) である。課題グループは、ウェブによるコンサルティング期間中に貴重なフィードバックを提供して下さったすべての個人と組織に感謝する。

本報告書は、2012年4月にベルサイユで主委員会によって承認された。

要 点

- 本報告書は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分から生じる可能性のある害からの人間および環境の防護に対する2007年委員会勧告（ICRP, 2007）の適用についての助言を提供している。
- 将来世代の防護のため、委員会の勧告は、引き続き、「将来の個人及び集団には、少なくとも、現在世代と同レベルの防護が与えられるべきである」（ICRP, 1998）という基本的原則に依拠している。
- 委員会は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分の予想される変化に付随する人間と環境への潜在被ばくを計画被ばく状況と見なしている。
- 防護体系の適用は、処分施設に対する監視すなわち「注意深い配慮」のレベルによって影響される。3つの主要な時間枠が考慮されるべきである：
 - 直接的監視期間** 処分施設が操業中であり、処分施設が能動的な監督下にある；
 - 間接的監視期間** 処分施設が部分的または全面的に密閉され、間接的な規制、行政または社会による監視が継続されるかもしれない；
および、
 - 無監視期間** 処分施設の記憶が失われた期間。
- 監視が閉鎖後に存在しなくなっても、処分場は引き続き機能する施設であり、潜在被ばくは計画被ばくとみなすべきである。
- 監視の変遷に関連して行われるべきさまざまな意思決定は、ステークホルダーと議論すべきである。
- 正当化原則の適用のために、廃棄物管理と処分作業は、廃棄物を発生させる行為と一体不可分であると見なさなければならない。この正当化は、その行為の寿命期間全体を通じて、新しい重要な情報が利用できるようになった時はいつでも見直されるべきである。
- 放射性廃棄物管理に関するこれまでの刊行物（ICRP, 1997 b, 1998）に述べられているように、拘束値を組み込んだ最適化プロセスを通じて遠い将来における公衆の被ばくを管理すれば、個人線量限度を直接使用する必要がなくなる。
- 防護の最適化は、地層処分施設の段階的設計、建設および運転の中心要素である。
- 最適化は、システムの防護能力を強化するとともに、その潜在的な影響（放射線影響および

(xii) 要 点

その他の影響)を低減するための、利用可能な最善の技術を含めた防護対策オプションの反復的、系統的かつ透明性の高い評価として広義に理解されるべきである。

- 最適化原則の適用にあたって、ICRPが勧告する廃棄物処分施設の設計の放射線学的な判断基準は、住民に対して年線量拘束値0.3 mSv/年と、職業的に被ばくする作業者に対して年線量限度20 mSv/年以下または5年間100 mSv以下である。
- 1×10^{-5} /年という住民に対するリスク拘束値が、被ばくシナリオの発生確率とそれに伴う線量を組み合わせた統合アプローチを適用するときに推奨される。
- 非常に長い期間では、線量とリスクの判断基準は、健康損害を評価する手段というよりむしろ、オプションの比較のために使用されるべきである。
- 設計の基準となる変遷(設計基準変遷)に含まれる自然事象に対して、委員会は、計画被ばく状況のバンド内で線量拘束値またはリスク拘束値を選択することを勧告している。
- 設計基準変遷において考慮されない過酷な自然による破壊的事象と不注意による人間侵入については、リスク拘束値も線量拘束値も適用されない。その場合、処分施設の(直接的または間接的)監視がまだ存在している間にそれらの事象が発生した場合、その後の被ばく状況(緊急時被ばく状況または現存被ばく状況)は監督官庁が検討すべきであり、それに関連した防護措置を実施すべきである。
- 不注意による人間侵入については、施設の設計と立地に、そのような事象の可能性を低減するための機能を盛り込むべきである。
- 作成または履行されたシステム設計の品質の判断は、体系だった透明性のあるプロセスに基づき、関連するすべてのステークホルダーが参加して行い、必要な場合は、それに対し批判的な視点からレビューが行われるべきである。
- 委員会の勧告の総合的な履行のためには、安全を基本的な目標とし、安全性、健康、環境、セキュリティ、品質および経済的な要素を統合するマネジメントシステムが必要である。
- 計画被ばく状況では、線量は代表的個人の年間線量を基本として評価すべきである。
- 環境防護の検討は、適切な場合には、リスク情報に基づく意思決定の一部に含めるべきである。

総 括

(a) 本報告書は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分から生じる可能性のあるあらゆる害から人間および環境を防護するための、委員会の2007年勧告(ICRP, 2007)の適用に関する助言を提供している。本報告書は、*Publication 103* (ICRP, 2007)の鍵となる防護概念と原則をどのように解釈するべきか、そして、放射線防護を実施しなければならない長寿命放射性固体廃棄物の地層処分施設のさまざまな時間枠にわたって、それらの防護概念と原則をどのように適用するかを具体的に示している(図A参照)。

(b) 地層処分施設の目標は、地質学的時間尺度に相当する時間的尺度にわたって人間と環境を防護するために、廃棄物を閉じ込め、隔離することにある。地表から遠く離れていれば、変化は非常に緩慢である。地表からの距離と適切なサイト選定を考えると、人間が侵入する可能性は限定的である。一部の核種*の放射能は時間とともに増加するが、適切に選択された地層によってその放出は遅延されるし、その上、希釈もされる。地層処分は、長期の閉じ込めと隔離が必要とされる高レベル放射性廃棄物や使用済み燃料に特に適していることが国際機関によって認められている。地層処分は、特に長期間の防護が同様に必要となる場合には、他の長寿命廃棄物に使用することも可能である。

(c) 地層処分施設の寿命期間のさまざまな段階において、防護体系の適用に影響する重要な要因の1つは、処分施設に対する監視、すなわち「注意深い配慮」のレベルである。監視のレベルは、線源を管理し、いくつかの被ばくを回避または低減する能力に直接影響を及ぼす。3つの主要な時間枠が考慮されるべきである：

- 直接的監視期間 処分施設が操業中であり、能動的な管理が行われている(操業段階)期間；
 - 間接的監視期間 処分施設が部分的(水平に掘られた坑道の埋め戻しと密封)または全面的に密閉され(閉鎖後期間)、間接的な規制または社会による監視が一定期間継続され、その後の間接的な監視(例えば、処分場の性能と可能性のある放射性核種の放出経路のモニタリング、土地の条件付き使用に対する制限が満たされていることの確認、施設の記録と記憶の維持等)によって補足または代替されると考えられる期間；
 - 無監視期間(閉鎖後期間) 処分施設の記憶が失われた期間。
- 間接的または無監視期間では、一旦施設が密閉されれば、防護は、設計、許可および操業の

* (訳注) ICRPに確認をした結果、ここでは例えばPu-241からのAm-241の生成のような崩壊生成に伴う放射能増加を意味しているとのことであったため、訳者が「一部の核種」の文言を追加した。詳しくは本文の14項を参照。

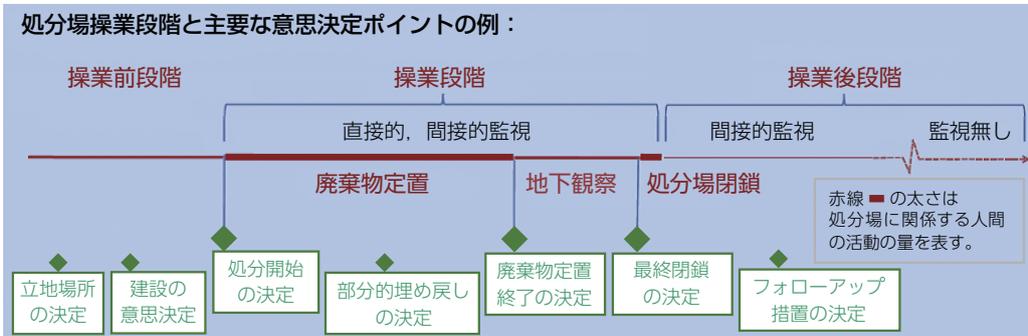


図 A 処分施設の段階とそれに関連する監視期間

時点で施設に組み入れられた受動的管理に依拠することとなる。

(d) 地層処分施設の設計とそれに付随するセーフティケースは、規則で定義可能なさまざまな確率を有する一連の変遷に対応している。それらの設計の基準となる変遷（設計基準変遷；design-basis evolutions）以外にも、開発者/履行者が、規制当局と社会による監督を受けて設備の頑健性を判断するために設計基準外の条件での変遷を評価したいと考えるかもしれない。

(e) 本報告書は、施設の設計者や事業者、規制当局、関連するステークホルダーが使用すべき放射線学的な概念と判断基準を解説している。長寿命放射性廃棄物の地層処分施設の安全性評価と放射線防護には、さまざまな線量拘束値とリスク拘束値が使用される。最適化は、処分施設の主要な目標（すなわち人間と環境の放射線防護）に取り組むものである。防護の最適化は、地層処分施設の段階的建設および履行の中心要素である。防護の最適化は、社会的要素を含め、総合的なやり方で、システムのすべての要素をカバーしなければならない。防護の最適化の重要な側面が、廃棄物の定置前に、主として立地段階と設計段階で生じるに違いない。最適化の努力は、処分施設の立地と設計のすべての段階に適用される利用可能な最善の技術（BAT）の検討から情報を得て、その検討によって建設を補足することができる。履行段階で、さらなる最適化が可能かもしれないが、廃棄物定置が行われたあとは、工学的機能の性能をさらに最適化するために行えることはほとんどなく、地下通路が密閉された後は、一層その余地が狭まるというのが一般的な認識である。

(f) 遠い将来、地層処分施設が、接近可能な環境への放出を生じさせる可能性があるかもしれない。そこで、セーフティケースでは、そのような放出が仮に発生したとしても、規制要件の一部として規定された放射線防護の判断基準の範囲内にとどまることを実証しなければならない。最適化原則の適用にあたっては、ICRP が勧告している廃棄物処分施設設計のための標準となる放射線影響の判断基準は、住民に対する年線量拘束値 0.3 mSv/年（ICRP, 2007）であり、遠い将来の線量にはいかなる重みづけも行わない。将来の線量について、そして、被ばくに至る可能性が高くない事象（いずれも潜在被ばくに分類される）に対して、委員会は、被ばくシナリオの発生確率とそれに関連する線量を組み合わせる統合アプローチを適用する際に

は、公衆に対するリスク拘束値¹⁾として、 1×10^{-5} /年を使用することを引き続き勧告する。しかし、*Publication 103* (ICRP, 2007) は、社会、人間の習慣と特徴の変遷を考えると、数世代の時間が経過した後は、実効線量は、将来の線量の健康損害との直接のつながりを失うと警告している。さらに、遠い将来では、岩石圏と工学的なシステムは予測し難い方向で変遷するかもしれないし、生物圏についてはなお一層予測しにくいかもしれない。したがって、非常に長期間後の将来では、健康損害の評価の科学的根拠は不確実であり、数値の判断基準を厳密に適用することは不適切であるだろう。非常に長期的には、線量とリスクの判断基準は、健康損害を評価する手段としてよりもむしろ、オプションの比較のために使用すべきである。

(g) 地層処分施設の設計基準変遷には、施設が提供する防護の予想される変遷、発生確率の低い事象（変遷の可能性がほとんどない）が含まれる。これには、施設を破壊させる可能性のある極めて発生確率の低い過酷な擾乱事象や不注意による人間侵入は含まれない。*Publication 103* (ICRP, 2007) において定められているように、設計基準変遷シナリオから生じる被ばくは、計画被ばく状況である。これらの被ばくには、低確率事象による潜在被ばく（これは設計基準の一部として考慮しなければならない）が含まれる。さらに具体的には、遠い将来にもたらされる被ばくについて、そのような被ばくには相当程度の不確実性が存在するため、潜在被ばくを考慮しなければならないだろう (ICRP, 2007, 265 項)。処分施設の監視（直接的または間接的）がまだ存在している期間中に、設計基準外の過酷な擾乱事象が発生した場合、引き続き発生する状況は、その時点の監督官庁が検討し、関連する防護措置を履行することになる。処分施設に対する監視がもはやなくなった時点で過酷な擾乱事象が発生した場合には、監督官庁が被ばく源を解明できるという保証はなく、したがって、線量を制御するための適切な措置の履行を確実性を持って考慮することは不可能である。地層処分施設への不注意による人間侵入は、直接的または間接的監視期間中に関係するシナリオでない。無監視期間においては、不注意による人間侵入が発生する可能性があり、その時点の監督官庁が被ばくの発生源を突き止められれば、監督官庁によって影響が考慮されるかもしれない。

(h) 設計基準変遷については、主要な3つの時間枠にわたって、処分施設の安全性と頑健性を評価するために、計画被ばく状況に適用される線量評価の判断基準が考慮される。設計段階では、過酷な擾乱事象の潜在的影響は、様式化または簡素化された計算を使って推定することが可能である。次に、必要に応じて、これらの結果を線量またはリスクの数値と比較することによって、システムの頑健性の目安を得ることができる。このアプローチを採用する場合は、個々のシナリオに応じて、現存被ばく状況の参考レベル（数 mSv/年）か緊急時被ばく状況の参考レベル（初年度の被ばくレベル 20-100 mSv の範囲）のいずれかを適切な参考レベルとすべきである。事象が将来実際に発生した場合、監督官庁は、その時点で適切な防護の判断

¹⁾ *Publication 103* (ICRP, 2007) において定められたように、本文書では、リスクは「放射線リスク」の意味で使用されている。

(xvi) 総括

基準を適用すべきである。

(i) 地層処分施設のセーフティケースは、低確率事象と遠い将来に発生する被ばく事象を含めることによって、*Publication 103* (ICRP, 2007) に定義されている潜在被ばくに対処する方法の検討を含む。

(j) ICRP は、これらの被ばく評価に基づく線量推定値またはリスク推定値を、およそ数百年の時間尺度を超えた遠い将来にわたる健康影響の直接的な尺度とみなすべきでないと勧告している。むしろ、それらの線量推定値またはリスク推定値は、地層処分施設によって得られる防護の指標を表している。

(k) *Publication 103* (ICRP, 2007) に定義された3つの被ばく状況並びに線量限度、線量拘束値および参考レベルが、3つの主要時間枠に、どのように適用されるかを表Aに示す。

表A 処分施設の変遷、監視の有無とその種類別の放射線被ばく状況

処分施設の状態	監視の種類		
	直接的監視	間接的監視	監視無し
設計基準*変遷	計画(通常および潜在)被ばく状況 [†]	計画(潜在)被ばく状況 ^{†,‡}	計画(潜在)被ばく状況 ^{†,‡}
設計基準外の変遷 [§]	被ばく時点では緊急時被ばく状況、その後は現存被ばく状況	被ばく時点では緊急時被ばく状況、その後は現存被ばく状況 ^{¶,**}	被ばくが認識された時点で緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況 ^{¶,**}
不注意による人間侵入	該当せず	該当せず	被ばくが認識された時点で緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況 ^{¶,**}

* 設計基準は、施設を設計する際に使用される通常被ばくと潜在被ばくの両方を含む。

[†] 計画段階では：作業者に対する20 mSv/年の線量限度と事業者が規定する線量拘束値；すべての線源からの公衆被ばくに対する線量限度は1 mSv/年と廃棄物処分のための0.3 mSv/年の線量拘束値。統合アプローチを適用する場合の公衆の潜在被ばくについては、 1×10^{-5} /年のリスク拘束値が勧告される。

[‡] 間接的監視期間または無監視期間には、作業者の線量は無いと想定されている。遠い将来に放出があった場合、潜在被ばくを引き起こす(ICRP, 2007, 265項)。線量拘束値またはリスク拘束値との比較は、遠い将来になればなるほど、適合性の観点から見た有用性は低くなる。

[§] 設計基準外の変遷には、人間と環境に著しい被ばくを生じる可能性がある、非常に起こりにくい事象または極端な事象が含まれる。

[¶] このような事象が将来発生した場合、その時点の監督官庁は、それが緊急時被ばく状況なのか、それとも現存被ばく状況なのか、あるいはその時点での対応する被ばくカテゴリに至っているかを判断することになるだろう。*Publication 103* (ICRP, 2007) がその時にまだ存在しているなら、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況の参考レベルは適切であるとして用いられるであろう。無監視期間では、被ばくはすぐに認識されない可能性がある。

** 計画段階では、潜在的な放射線影響は、通常、様式化されたシナリオまたは簡素化されたシナリオを使って評価される。それらの解析の結果は、数値と比較することによって、システムの頑健性の指標として使用することができる。その場合、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況に定義されている参考レベルを使用することが勧告される。なお、完全に最適化されたシステムであっても、線量分布において、一部の線量が参考レベルを上回る可能性がある点に留意する必要がある(ICRP, 2009 a, 37ページ)。

用語解説

〔見出し語は五十音順で配列。⇔ は参照先を示す。〕
〔原著の配列順による見出し語訳は本項末尾を参照。〕

回収可能性 [Retrievability]

原則として、廃棄物または廃棄物パッケージ全体を、処分場に定置した後に回収する能力。回収は、廃棄物を取り除く具体的な行動である。回収可能性は、必要になった場合、回収を可能にするための準備がなされていることを意味している。

可逆性 [Reversibility]

原則として、処分システムの漸進的实施の間に行なった決定を翻す、あるいは見直す能力。後戻りは、決定を覆し、前の状況に戻す具体的な行動である。

隔離 [Isolation]

所定の拘束値を上回る量の放射性核種の生活環境への放出を防止する機能。

監視 [Oversight]

監視は、「注意深い配慮」の一般的な用語で、技術的システムと計画および決定の実際の履行を社会が「注視する」ことを指している。これには、管理と検査の形での規制当局による監督、社会的記録の保存、施設の存在の社会的記憶が含まれる。監視には3つの期間が考慮される。

- 直接的監視は、施設の操業段階における能動的な管理措置、例えば、検査とモニタリングを指す。
- 間接的監視は、施設が閉鎖され、地下施設へのアクセスがもはやなくなった後に使用される措置を指す。例えば、ある一定期間の継続的な規制上の管理、土地使用記録の保存、環境状態が劣化していないことを確認する社会によるモニタリングなどである。
- 無監視は、処分施設の存在の記憶が失われ、社会がもはや施設に対する注意深い視線を向け続けることがなくなった状況を指す。

間接的監視 [Indirect oversight]

⇔ **監視** [Oversight]

危険 [Hazard]

ある特定の状況において害をもたらすおそれのある性質または状況。危険は、害を引き起こす可能性であり、リスク（後出の用語参照）とは異なる。リスクは、ある定義された一

(xviii) 用語解説

連の状況から害が発生する可能性を定義する。

緊急時被ばく状況 [Emergency exposure situation]

緊急時被ばく状況は、計画された線源の管理の喪失または不測の状況（例えば、悪意に基づく事象）から発生し、好ましくない被ばくを回避または低減する至急の対策を要する被ばく状況である。

計画被ばく状況 [Planned exposure situations]

計画被ばく状況は、意図的に導入された線源の運用から生じる被ばく状況である。

現存被ばく状況 [Existing exposure situation]

現存被ばく状況は、自然放射線、過去の行為の残留物、緊急事態後を含む、管理についての決定をしなければならない時点で既に存在する線源から生じる被ばく状況。

参考レベル [Reference level]

緊急時または現存の制御可能な被ばく状況において、それを上回る被ばくの発生を許す計画の策定は不適切であると判断され、またそれより下では防護の最適化を履行すべき、線量またはリスクのレベルを表す用語。参考レベルに選定される値は、考慮されている被ばく状況の一般的な事情によって決まる。参考レベルは限度でも拘束値でもなく、最適化されたシステムでも、いくらかの線量が参考レベルを上回るような線量分布を生じると考えられる。

実効線量 [Effective dose]

人体のすべての特定された組織・臓器における等価線量の組織加重合計であって、次の式で表される。

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad \text{または} \quad E = \sum_T w_T H_T$$

ここで、 H_T または $w_R D_{T,R}$ は組織または臓器 T の等価線量、 w_T は組織加重係数である。実効線量の単位は吸収線量と同じ J/kg、特別な名称はシーベルト (Sv) である。職業的な作業員および一般公衆の放射線防護において実効線量を用いること的主要かつ第 1 の理由は次のとおりである (ICRP, 2007, 153 項)：防護の計画と最適化のための予測的線量評価および線量限度の遵守を実証するための遡及的線量評価、あるいは線量拘束値または参考レベルとの比較。実際の放射線防護への適用においては、実効線量は、作業員と公衆の確率的影響のリスクを管理するために用いられる。

処分施設 [Disposal facility]

回収する意図なく、使用済燃料または放射性廃棄物を処分するための工学的施設。これには、すべての地下建築物（トンネル、空洞およびアクセス立て坑）、定置された廃棄物並びに密閉用および埋め戻し用の材料を含む。

職業的に被ばくする作業員 [Occupationally exposed worker]

常勤，非常勤，もしくは臨時を問わず雇用主によって雇用され，職業上の放射線防護に関連する権利と義務を認識しているあらゆる人。

ステークホルダー [Stakeholder(s)]

ある一定の状況に対する利害と懸念を有する当事者。例えば，被ばくした個人（作業員または公衆の構成員）またはその代表（労働組合，地元の団体），意思決定プロセスに対する組織的および非組織的な技術支援（公認の線量評価機関，有資格の専門家，公式な技術サービス，公的な専門家組織，民間研究所），選出プロセス（選出代表）または参加型プロセス（環境団体）に基づく社会の代表がこれに含まれる。

正当化 [Justification]

(1) 放射線に関係する計画された活動が，総合的に見て有益であるかどうか，すなわち，その活動の導入または継続が，活動の結果生じる害（放射線による損害を含む）よりも大きな便益を個人と社会にもたらすかどうか；あるいは(2) 緊急時被ばく状況または現存被ばく状況において被ばくを管理する決定が総合的に見て有益でありそうかどうか，すなわち，個人および社会の便益（放射線による損害の低減を含む）が，その費用およびその決定に起因するなんらかの害または損傷を上回るかどうかを決定するプロセス。

セーフティケース [Safety case]

セーフティケースは，システムの安全性を実証する体系化された一組の論拠と証拠である。より具体的に言えば，セーフティケースは，特定の目標と判断基準に合致していることを示すことを目的とする。

線量 [Dose]

摂取による預託実効線量と外部照射による実効線量の和。

線量限度 [Dose limit]

計画被ばく状況から個人が受ける，超えてはならない実効線量または等価線量の値。

線量拘束値 [Dose constraint]

ある線源からの個人線量に対する予測的な線源関連の制限値。線源から最も高く被ばくする個人に対する防護の基本レベルを提供し，またその線源に対する防護の最適化における線量の上限值としての役割を果たす。職業被ばくについては，線量拘束値は最適化のプロセスで考察される複数の選択肢の範囲を制限するために使用される個人線量の値である。公衆被ばくについては，線量拘束値は，管理された線源の計画的操業から公衆の構成員が受けるであろう年間線量の上限值である。

潜在被ばく [Potential exposure]

確実に生じるとは予想できないが，線源の事故または機器の故障および操作上の過失を含む確率的性質を持つ単一事象または一連の事象により生じるおそれのある被ばく。将来発生する可能性のある被ばくは，それを取り巻く不確実性が大きいことから，潜在被ばくと

(xx) 用語解説

考えられる。

損害 [Detriment]

あるグループが放射線源に被ばくした結果、被ばくグループとその子孫が受ける健康上の害の全体。損害は多次元概念であり、その主な構成要素は以下の確率量である。すなわち：致死がんの寄与確率、非致死がんの加重された寄与確率、重篤な遺伝性影響の加重された寄与確率、および、害が発生した場合の寿命短縮年数。

代表的個人 [Representative person]

集団内でより高く被ばくした人々を代表する線量を受ける個人 (ICRP, 2006)。この用語は、以前の ICRP 勧告で述べられている“決定グループの平均的構成員”と同等であり、これに置き代わる。

貯蔵 [Storage]

閉じ込めを備えた施設での回収を意図とした使用済燃料または放射性廃棄物の保管。

直接的監視 [Direct oversight]

⇨ 監視 [Oversight]

等価線量, H_T [Equivalent dose]

次の式で与えられる組織または臓器 T の線量：

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

ここで、 $D_{T,R}$ は組織または臓器 T が放射線 R から受ける平均吸収線量、 w_R は放射線加重係数である。 w_R は無次元量なので、等価線量の単位は吸収線量と同じく J/kg、また特別の名称はシーベルト (Sv) である。

閉じ込め [Containment]

廃棄物形態を構成する人工バリア内、または設置地質構造と廃棄物形態を分離する人工バリア内に放射性核種を閉じ込める機能。

被ばく状況 [Exposure situation]

被ばく状況は、自然放射線源または人工放射線源、さまざまな経路を通じた放射線の転移および個人の被ばくを含むプロセスである。

標準動物および標準植物 [Reference animals and plants]

分類学上の科のレベルの一般概念に従う、特定のタイプの動物または植物に想定される基本的生物学的特性を備え、解剖学、生理学、およびライフサイクルの特性を備えた仮想的実体である。

防護の最適化 [Optimisation of protection]

被ばくする可能性、被ばくする人の数およびその人たちの個人線量の大きさを、経済的・社会的要因を考慮の上、合理的に達成可能な限り低く保つためのプロセス。

預託実効線量, $E(\tau)$ [Committed effective dose]

臓器または組織の預託等価線量と適切な組織加重係数 (w_T) との積の和。ここで, τ は摂取後の年で表した積算時間である。預託期間は, 成人の場合は 50 年, 子供の場合は 70 歳までとする。

預託等価線量, $H_T(\tau)$ [Committed equivalent dose]

標準人が体内に放射性物質を摂取後, 個人が受ける特定の組織または臓器における等価線量率の時間積分。ここで, τ は摂取後の年で表した積算時間である。

リスク [Risk]

被ばくまたは潜在被ばくに関連して 1 年間に有害または障害性の影響 (例えば, がん) が生じる確率。これは, 1 年間にある線量を受ける確率と, 受けた線量が害を引き起こす確率を考慮している。リスク = 事象が発生する尤度 \times 異常事象が発生した場合の深刻度。

利用可能な最善の技術 (BAT) [Best Available Techniques (BAT)]

「利用可能な最善の技術」は, 排出および環境全体への影響を防止し, 防止が実行可能でない場合は, それらを低減することを意図した活動とその運用方法の開発における最も効果的で先進的な段階を意味する。

用語解説の見出し語

〈原著配列順〉

Best Available Techniques (BAT) 利用可能な最善の技術 (BAT)	Indirect oversight 間接的監視 ⇔ 監視
Committed effective dose 預託実効線量, $E(\tau)$	Isolation 隔離
Committed equivalent dose 預託等価線量, $H_T(\tau)$	Justification 正当化
Containment 閉じ込め	Occupationally exposed worker 職業的に被ばくする作業者
Detriment 損害	Optimisation of protection 防護の最適化
Direct oversight 直接的監視 ⇔ 監視	Oversight 監視
Disposal facility 処分施設	Planned exposure situations 計画被ばく状況
Dose 線量	Potential exposure 潜在被ばく
Dose constraint 線量拘束値	Reference animals and plants 標準動物および標準植物
Dose limit 線量限度	Reference level 参考レベル
Effective dose 実効線量	Representative person 代表的個人
Emergency exposure situation 緊急時被ばく状況	Retrievability 回収可能性
Equivalent dose 等価線量, H_T	Reversibility 可逆性
Existing exposure situation 現存被ばく状況	Risk リスク
Exposure situation 被ばく状況	Safety case セーフティケース
Hazard 危険	Stakeholder(s) ステークホルダー
	Storage 貯蔵

1. 緒 論

(1) 本報告書は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分に際して適用すべき 2007 年 ICRP 放射線防護体系 (ICRP, 2007) を単独で提示するものとして書かれている。本報告書は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分による害からの人間と環境の放射線防護に関連したすべての課題を対象としている。しかしながら、本報告書で深く取り扱っていない既存の ICRP 勧告は引き続き有効である。委員会の勧告が変更されていない場合や他の国際的な組織による刊行物において課題が十分に対処されている場合は、参考文献を示し、詳細な議論は提示しない。本報告書は特に地層処분을扱っているが、勧告の多くは処分方法が決定されるまでの放射性廃棄物貯蔵期間中の意思決定に影響を及ぼすと考えられ、放射性廃棄物の浅地中処分にも多くの点で適切である。

(2) 作業者の職業被ばくと公衆の被ばくは、ICRP の放射線防護体系に従って管理される。本報告書で扱う主要な防護上の課題は、遠い将来に発生するかもしれないし、あるいは発生しないかもしれない被ばくを考慮することである。将来の処分施設の挙動、地質学的条件と生物圏の条件、社会的・経済的な条件、人の習慣と特性についての知識が不完全であるため、これに対応する個人および集団の線量とリスクの推定値には、時間の関数として大きくなる不確実性が伴う。さらに、時間的尺度が長期であるため、処分施設の存在に関する知識が最終的に失われる可能性があることから、防護が実現されているという証明は、現在の放出と同じ方法では想定することができない。また、遠い将来に効果的な緩和措置が必要とされたとしても、それが必ず実行されると仮定することはできない。しかしながら、ICRP の放射線防護体系は、しかるべき解釈を持って、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分に適用することができる。

(3) 委員会の勧告の文脈では、廃棄物とは将来使用される見込みがないあらゆる物質のことである。発生した時点での廃棄物は、固体状の物質だけではなく、液体状および気体状の排出物を含む。貯蔵は、後で回収するという明示的意図をもって、貯蔵施設で廃棄物を保管することを意味する。処分は、回収の意図を持たずに処分施設へ廃棄物を定置することを意味する。廃棄物管理は、廃棄物の発生から始まり、処分で終了する一連の活動全体を意味する。

(4) 地層処分は、長寿命放射性固体廃棄物を閉じ込め、隔離することを目的としている。閉じ込めは、廃棄物形態を構成する人工バリア内もしくは設置地質構造から廃棄物形態を分離する人工バリア内のいずれか、あるいは処分場を取り囲む適切に定められた体積内に放射性核種を閉じ込める機能である。隔離は、所定の拘束値を上回る量の放射性核種の生活環境への放

出を防止する機能である。地層処分は、高レベル廃棄物、使用済燃料および半減期が長い放射性核種を含んでいる中レベル廃棄物に特に適している。これらは比放射能の高い廃棄物である。これらの廃棄物が地層処分施設で処分されず、そのまま地表に残された場合には、安全性を維持するために特別な予防措置が必要になると思われる。本報告書は、浅地中処分施設を対象としない。なぜなら、浅地中処分施設が、地層処分施設と2つの重要な観点（施設が対象とする廃棄物、そして閉じ込め機能と隔離機能を達成する手段）で異なるからである。

(5) 地表から数百メートル下の地層中に長寿命放射性固体廃棄物を恒久的に隔離するための技術的解決策が、複数の国で開発、追求されている。地層処分は、現在、放射性廃棄物管理を担当している国際機関によって、長期の閉じ込めが必要とされる高レベル放射性廃棄物または使用済燃料に特に適していると認められている。地層処分は、これらの廃棄物と同様な長期的な防護要件が導き出されることから、長寿命放射性核種を含んでいる他の廃棄物にも使用できるであろう。地層処分の一例は、掘削したトンネルまたは立坑への廃棄物定置と、その後の施設全体の埋め戻しと密閉によるものである。

(6) 地層処分施設の目的は、廃棄物の閉じ込めと隔離を達成し、気候変動や地表変動が起こると考えられる長期の時間的尺度にわたって人間と環境を防護することである。地表から遠く離れたところでは、非常に長く（すなわち何千年から何百万年）安定した地質学的条件を呈する地層を特定することができる。適切に選定された地層は、廃棄物に対する安定した化学的、物理的条件を保証し、そして岩石圏への放射性核種の放出を低減および遅延させるであろう。ここで「距離」は、例えば、ある山の奥深くに立地された処分施設の場合のように水平距離または垂直距離と捉えることができる。さらに、既知の天然資源が存在しない地域にサイトが選定されれば、施設への不注意による人間侵入の可能性を抑えることができるかもしれない。

(7) 地層処分のために実施される安全の戦略は、廃棄物を閉じ込め、隔離することである。非常に低いレベルの被ばくが遠い将来に発生する可能性があるかもしれないけれども、被ばくは全く意図されていない。したがって、処分施設は、安全と防護が組み込まれているとともに、施設閉鎖後も安全と防護が持続する機能を有する施設とみなされるべきである。これにより、放射性崩壊が起こり、汚染物質が生物圏と環境に最終的に放出される時期を遅らせることができる。さらに、隔離が、廃棄物への不注意による人間侵入のリスクを低減する。

(8) 長寿命放射性固体廃棄物の地層処分には、放射線防護に関連した多数の難しい課題が存在している。例えば、処分施設の開発および履行のさまざまな段階における防護の最適化の性質と役割、意思決定を支援するための遠い将来における線量とリスク指標の適用性である。本報告書では、*Publication 103* (ICRP, 2007) において定められている基本的放射線防護原則が、どのようにこれらの状況下で適用できるかについて説明する。本報告書は、また、これらの原則の遵守を実証するうえで役立つ要素を検討するとともに、それらの要素が、広い意味で、環境影響評価において考慮される他の防護目標とどのように関係するのかも検討する。

2. 範 囲

(9) 委員会は、以前に、放射線防護に関するこれまでの全体体系の適用に関する一般的勧告 (ICRP, 1991) と整合性のとれた長寿命放射性廃棄物の処分に関する勧告 (ICRP, 1985, 1997 b, 1998) を公表している。最近、委員会は新たに一般的勧告 (ICRP, 2007) を公表した。本報告書では、2007 年勧告が長寿命放射性固体廃棄物の地層処分施設にどのように具体的に適用できるかについて要約して説明する。

(10) 本報告書では、地層処分施設に長寿命放射性固体廃棄物を処分した後の人間と環境の放射線防護を扱う。本報告書で示されている勧告は、サイト選定、設計、建設および操業の各段階でまだ履行の機会が存在する処分施設に対して適用される。それらの勧告は、廃棄物を発生させる行為の正当化においても考慮されるべきである。放射線防護の判断基準に基づく最適化は、処分施設のある特定の期間に対して、そして、処分施設に特有の観点に対して設計時および操業時に行う最適化プロセス全体の重要な部分である。

(11) 本報告書では、処分の安全性評価を詳細には記述しない。本報告書は、むしろ、安全解析において防護の判断基準がどのように使用できるか説明し、長寿命放射性固体廃棄物の処分に関連した防護の課題に対して勧告を策定する。

(12) 本報告書の多くの考察が浅地中処分にも当てはまるけれども、本報告書は、浅地中処分施設または他の処分オプションの場合における作業員、公衆の構成員および環境の放射線防護に関する以前の ICRP 勧告 (ICRP, 1998) に取って代わるものではなく、以前の勧告は今でも有効である。

(13) 放射線防護は、処分施設の防護能力を文書化する際に安全性の解析者が使う防護の概念の 1 つにすぎない。他の概念としては、例えば、飲料水資源としての地下水のように、持続可能な方法で資源を保護するといったことに関するものが考えられる。放射性廃棄物処分施設内の廃棄物または廃棄物の閉じ込めシステムの化学毒性も考慮事項と思われる。これらのより幅広い側面はこの文書では取り上げていない。

3. 将来の世代を防護するための基本的価値観，原則および戦略

3.1 将来の世代を防護するための価値観

(14) 長寿命放射性廃棄物の放射性核種の組成は，時間とともに，その危険度を変えつつ，変化する。放射性核種によっては半減期の長いものもあれば，崩壊生成する放射性核種もあるため，それらの廃棄物は遠い将来にいたるまで危険物であり続けるが，廃棄物の放射能は全体として時間とともに減少する。

(15) 長寿命放射性廃棄物によってもたらされる危険性が長期にわたることに関連した安全性と社会的問題の過去数十年間にわたる熟考が，状況の難しさを明確に指摘している。遠い将来において社会がどのように組織されているかを想定することは不可能である一方，他方においては，現在の世代には将来の世代に配慮する義務がある。この複雑さが，将来世代の健康と環境を損なわないための予防的原則と持続可能な発展に基づく廃棄物管理戦略の設計において必要とされる倫理面を熟考するときの中心となるものである。

(16) ICRP *Publication 81* において，委員会は「将来における個人及び集団が，少なくとも，現在世代と同じ水準の防護を与えられるべきである」と勧告している (ICRP, 1998, 40 項)。この基本原則は，「将来の世代の必要及び願望を満たすことを阻害することなく現在の世代の必要及び願望を満たす」ようなやり方で，電離放射線による有害影響から個人，社会および環境が防護されるべきであると述べた使用済燃料管理の安全性と放射性廃棄物の安全性に関する 1997 年の合同条約 (IAEA, 1997) の要件とおおむね合致している。

(17) 同様に，将来の世代に対する現在の世代の義務は複雑であって，例えば，安全性と防護の課題だけでなく，知識と資源の移転をも含んでいる。技術的および科学的不確実性並びに長期的な社会の変化から，将来において社会的対策が講じられることを現在の世代が保証することはできないが，現在の世代が将来の世代に対してこれらの課題に対処するための手段を提供する必要があることは一般に認められている。

3.2 放射線防護原則

(18) 2007 年勧告 (ICRP, 2007) で述べられている ICRP の防護体系は，3つの基本的原則，すなわち，正当化，防護の最適化および線量限度の適用に引き続き依拠している。これらの原則が，放射線防護を体系化するために委員会が考慮する3つのタイプの被ばく状況，すな

わち，計画被ばく状況，緊急時被ばく状況および現存被ばく状況に適用された。

(19) 最適化原則は最も重要な原則であり，その役割は2007年勧告（ICRP, 2007）においてさらに強固なものとした。この目的のために，ICRPは，人間の防護レベルを評価するうえで，「被ばくする可能性，被ばくする人の数，及びその人たちの個人線量の大きさは，すべて，経済的及び社会的な要因を考慮して，合理的に達成できる限り低く保たれるべきである」（ICRP, 2007, 203項）と勧告している。

(20) ICRPはこれらの評価のために線量とリスクという2つの概念を考慮している。線量とリスクに関連して，*Publication 26*（ICRP, 1977）でICRPが導入した健康損害の概念も，防護レベルを評価する際に考慮すべき重要な概念である。健康損害という概念の適用は，直線・閾値無し線量効果関係を仮定することにより，被ばくの結果としての個人とその子孫に対する総健康被害の推定値を提供することを目ざしている。遠い将来に発生するかもしれない被ばくについて，線量とリスクの関連性と意味合いが関心事であり，そして，（3.3.1で定義される）さまざまな段階にわたってそれらをどのように解釈すべきかを明確化しなければならない。名目確率係数の過去の再評価によってすでに実証されているように，線量と効果の関係についての知識が将来大きく変化するかもしれない点に留意すべきである。同様に，誘発された健康に対する影響を治癒または緩和する能力も将来変化するかもしれない。これらの変化の方向を予測することは不可能である。したがって，ICRPは，遠い将来における人間の健康と環境に対する影響を回避および／または低減する努力は，すべて，それらに関する現在の理解を指針として実施しなければならないと考えている。

(21) 上述の不確実性にもかかわらず，ICRPの線量評価量と健康損害は長期にわたる評価のために使用することができる。実際，長期にわたって固体廃棄物処分がもたらす防護システムの頑健性の評価には，遠い将来における集団の一般的健康状態の変化についての正確な知識を必要としない。設計段階では，遠い将来における特定の仮想上の集団の健康影響の評価に焦点を当てることは，適切でない。課題は，代替オプションの比較（とりわけ線量とリスク指標を使ったもの）を通じた最適化プロセスにおいて，ある特定の処分施設によって達成される防護レベルを推定することよりはむしろ，選んだ戦略について推定される防護レベルが，今日受け入れられている防護レベルに照らして許容できるかどうか判断することである。

3.3 長寿命放射性固体廃棄物管理の戦略

(22) 安全目標を達成するために，長寿命放射性廃棄物の管理に採用する基本的戦略は，その危険性の特徴と長期性により，可能な限り長期にわたって廃棄物を閉じ込め，環境から隔離することにある。地層処分施設の目的は，長期にわたり放射性廃棄物がもたらす危険から人間と環境の防護を提供することにある。現在の世代は，廃棄物管理戦略を設計するにあつ

て、将来の世代の資源と環境の維持を考慮しなければならない。この考慮には、人間による制度的管理の存在レベルが異なる、さまざまな時間的尺度で実行できる開発を含むが、人間自体がどの程度存在しているかについての不確実性も含まれる。

(23) 社会にとってもはや用途がないと宣言されている物質（廃棄物）だけが処分されることから、たとえ回収する技術的オプションが利用可能としても、回収する意図がないことが国際的な認識となっている。処分は貯蔵状況と混同されるべきでない。現在のところ、標準的なオプションは、適切な地層に設置された工学的処分施設でこれらの廃棄物を処分することである（IAEA, 1997; OECD/NEA, 2008）。

(24) 最終閉鎖を含む処分施設の開発と履行の計画立案には、さまざまなステークホルダーが関与する、段階的プロセスを採用することが考えられる。その関連で、計画によって程度は変わるかもしれないが、施設の操業を可逆的なものにするための措置、および定置した廃棄物を回収可能にするための措置を講じることが考えられる。回収可能性は、回収する意図を意味するものではないし、回収は処分施設の緊急時対応策でもない。回収を行うという意味決定は、新たに計画された活動に適用される放射線防護原則に従った、将来の別個の意思決定であるだろう。可逆性または回収可能性のための措置が講じられる場合、それらの措置は放射線防護の観点から受け入れがたい帰結をもたらすべきでない。例えば、施設に定置した廃棄物を回収するオプションを残しておくためだけに、その他の点では閉鎖の準備が整っているのに、施設を閉鎖せずに置くという案が考えられる。その場合は、セーフティケースが、廃棄物パッケージの劣化などのプロセスや、その他の予想外の事象が人間や環境の防護に容認しがたい影響を及ぼすことはないことを実証する必要がある。

(25) 「閉じ込め・濃縮」戦略は、原理上は、将来のいつかの時点で自発的または非自発的に廃棄物に再接近することを可能にする。したがって、処分施設は、不注意による人間侵入の可能性を低減するように設計されるべきである。関連する要件には、ある程度、相いれない面があるため、時間的尺度、廃棄物の性質、設置地質構造の性質および社会の要求の変化を考慮に入れ、ケースごとにバランスを見いださなければならない。

3.3.1 処分施設の各段階と安全解析プロセス

(26) 地層処分施設の開発には3つの主要な段階が含まれており（図3.1）、各段階の期間は、設計とそれぞれの国の意思決定アプローチに応じて、各国の計画で異なる。これらの段階は、処分施設のさまざまな種類の監視（「注意深い配慮」）と関連している。監視とは、技術的なシステム並びに計画および要件の履行に対して、規制当局や社会が「注視している」ことを意味する。これには規制当局による指導と管理、社会による記録の保存、および施設の存在に関する社会の記憶が含まれる。直接的監視は、施設の操業段階の能動的な管理措置（例えば、検査とモニタリング）を意味する。間接的監視は、いったん施設が閉鎖され、もはや地下施設へ

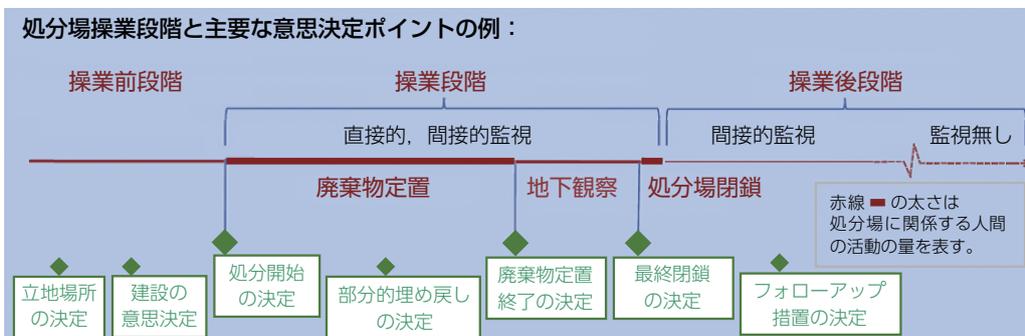


図 3.1 処分施設の段階とそれに関連する監視期間

の接近がない場合に使用される措置を指す（例えば，ある一定期間の継続的規制管理，土地使用記録の保存，環境条件が悪化していないことを確認するために社会が行うモニタリング）。最終的に，処分施設が存在するという記憶が失われ，社会が施設に対する注意深い視線を送らない，すなわち言い換えれば，処分施設に対する監視がなくなる時が来るかもしれない。

(27) 操業段階では，施設の直接的監視は，同じような放射性物質を取り扱う他の原子力施設で行われる監視（例えば，規制に定められた検査）と整合性が取れるように実施されることが期待される。施設閉鎖後（操業後段階）の間接的監視には，処分場の性能と被ばくにつながる可能性のある経路のモニタリング，施設が存在していることの記録の保存および土地使用制限の確認を含むことが期待される。しかし，操業後段階における間接的監視の継続は，時間が後になればなるほど（例えば，数百年後）不確実になり，いつかの時点で記憶が失われるかもしれない，それ以降の間接的監視が行われなくなるかもしれないということが仮定されるかもしれない。これは，たとえ目的がサイトの記憶を失うことでないにしても，地層処分施設が，遠い将来の監視に頼らない（すなわち受動的な安全）ように開発，設計される1つの理由である。

操業前段階

(28) この段階で，処分施設の設計，サイト選定，サイト特性評価，人工材料の試験，および工学的実現可能性の実証が行われ，操業段階および操業後段階における安全性評価が作成される。建設と操業の許可が申請，受理されて建設が始まる。環境状況の基準（ベースライン）のモニタリング計画も策定される。

操業段階

(29) この段階で廃棄物は定置され，その後，閉鎖までの観察期間が続く。この段階のある時期に，地下坑道の一部は充填，密閉され最終的な構造に近づくものもあれば，まだ開いており充填される途中のものもあるであろう。

(30) この段階は、他の関連するステークホルダーと協力しつつ、規制安全当局による直接的監視下におかれる。この時期は次の3つの関連した時期に分けることができる。

- **定置期間** 予め掘削された地下坑道、空間、ボアホールへの廃棄物パッケージの搬送と定置を承認する許可が与えられる。環境状況が連続的にモニターされ、ベースラインデータと比較される。研究開発が継続される。規制当局が地下での作業を定期的に検査する。長期的なセーフティケースが、開発者／履行者によって定期的に更新され、規制当局によって再審査される。この段階では、新しい地下坑道が建設されることも考えられる。また、地下坑道と処分施設区域の部分的埋め戻しおよび／または密閉が行われると考えられる。
- **観察期間** すべての廃棄物パッケージが定置されたあと、更なる性能確認が行われる一方、(一部の) 処分施設をモニターするとともに、廃棄物の少なくとも一部へアクセスできるなんらかの余地を残すという決定が行われることも考えられる。
- **閉鎖期間** 閉鎖をするための許可が与えられ、設計にしたがって、補完的な埋め戻しと密閉が実施される。地表から地下施設へのアクセスは終了する。地表施設は解体されと考えられる。関係する情報はすべて記録保管所で保存され、社会は処分施設の監視に定期的に関与すると考えられる。

操業後段階

(31) この段階では施設を直接管理するためにはや人の存在は必要とされない。本段階は最も長い段階であり、2つの関連する期間に分けられる。

- **間接的監視期間** 閉鎖後、安全性は、処分施設の設計に固有の組み込まれた安全措施を通して総合的に保証される。それでもなお、ベースラインとなる環境状況のモニタリングや規制当局または社会の監視がある一定期間続くことが期待される。廃棄物パッケージと処分施設の技術的データと配置に関する資料が保管され、将来の世代にその存在を思い起こさせる警告サインまたは目印の使用が検討されるかもしれない。関連する国際的な保障措置と管理が引き続き適用される。処分施設への不注意による人間侵入は除外することができる。
- **無監視期間** 間接的監視が終了する時点を見ることが不可能である。とは言え、サイトの記憶が遠い将来まで維持され、その結果として、監視が無期限に維持されるという保証がない以上、設計および計画段階ではそれを検討しなければならない。最終的には徐々にであれ、あるいは、戦争や記録の喪失といった予測不可能な大きな事象後にであれ、記憶が失われ、その結果として監視も失われると考えられる。したがって、この時期には、処分施設への不注意による人間侵入の可能性を排除することはできない。廃棄物固有の危険は時間とともに減少するが、相当に長い時間にわたって深刻な危険をもたらす続けると考えられる。それでも、監視の喪失が、処分施設固有の防護能力に変化をもたらすことはない。

(32) 操業段階(直接的監視期間)では、セーフティケースの定期的更新に基づいて、処

分施設の防護能力を評価することが可能である。処分施設の開発者が提供するセーフティケースは、操業段階および操業後段階、特に、管理と介入に依拠することができない遠い将来について取り扱わなければならない。作成されるセーフティケースの目的は、システムの将来の開発や計画の修正について意思決定を行うのに十分な、システムの防護能力に関する証拠を提供することにある。セーフティケースは、処分施設のバリアとそれに関連する母岩のバリア（処分システム）がどのように一体となって働き、時間の経過とともにそれらがどのように期待される機能を達成するかを示す。セーフティケースは、知識ベースを開発するために従った原則と戦略を文書化する。セーフティケースにより、処分システムの性能に影響を及ぼす可能性のある長期的プロセスと将来起こりうる事象の両方の残余の不確実性が認識されるし、なぜそれらが極度に防護を低めることにならないと考えられているかの理由が認識される。さまざまなステークホルダー（例えば、地元の公衆や技術的審査を行うために招聘される外部の専門家）との交流は、処分施設の開発と履行のさまざまな段階における意思決定プロセスの品質を高める要素として広く認められている。

(33) 施設の閉鎖後（操業後段階）は、直接的監視は終了し、安全に関する追加的な保証を提供するために間接的監視が実施される（例えば、生物圏への予期される放出のための環境モニタリングと処分場に関連する性能のモニタリング）。規制当局による監視も一定期間続くと考えられる。プロジェクトを追跡するために、他の行政機関が設立されたり、社会が関与したりすることも考えられる。間接的監視が無期限に遠い将来まで続くことを保証することは不可能である。しかし、地層処分施設は遠い将来に監視の存在に依拠せず、むしろ受動的安全に依拠するように開発、設計されている。

(34) 監視が閉鎖後に存在しなくなっても、処分場は引き続き機能する施設であり、そうあり続けるべきである。放射性廃棄物を閉じ込め、隔離する能力は、遠い将来まで続くとともに、自然過程や事象下で処分システムが経験すると考えられる変遷に対応する放射性廃棄物処分場に固有の機能である。処分システム設計の基礎である多重バリア、多機能システムは、放射性廃棄物処分場から放射性核種の放出を抑制する能力を有していなければならない。もし間接的監視が存在しなくなれば、施設への不注意による人間侵入が発生する可能性がある。人間が通常居住する環境から隔離された地下深く、そして利用可能な資源が存在しない地層環境に処分施設を設置することが、処分施設の技術的設計と相まって、不注意による人間侵入に対する防護を提供する。

3.3.2 放射線防護に関連性のある時間枠

(35) 上記のように、本報告書の範囲は、安全性評価において防護判断基準をどのように使用することができるかを説明し、長寿命放射性固体廃棄物の処分に関する防護の課題に対する勧告を行うことにある。処分施設の寿命期間中の異なる段階にわたる防護体系の適用に影響

を及ぼす重要な要素の1つは、存在する監視、すなわち「注意深い配慮」のレベル——直接的監視、間接的監視、無監視である。監視のレベルは、被ばくを低減または回避する能力に直接影響を及ぼす。

(36) 直接的監視の期間中、事業者は、規制当局による監督の下、関係するステークホルダーと交流しながら、一連の行動を通じて、作業員、公衆および環境の防護を能動的に管理することができる。この時間枠からの間接的監視の時間枠への移行は、突然に生じるものではない。したがって、処分施設の一部は直接的監視下にある一方で、処分施設の別の部分は間接的監視下にある。

(37) 間接的監視の期間中は、サイトには人々／職員／事業者によるなんらかの活動が存在するであろう。知識は維持され、モニタリングが行われ続けると考えられる。また必要に応じてなんらかの措置が行われるかもしれない。時間が経つにつれて、例えば、検査頻度の減少や規制当局による監督の終了といったようなものに付随して、間接的監視の程度が変わっていきと考えられる。監視のレベルを低減するという意思決定は、ある一定程度、施設の挙動に対する信頼の程度やその他の社会的・経済的要因に基づくと思われる。監視の組織と変遷に関連した意思決定は、関係するステークホルダーと協議すべきである。

(38) 操業後の期間では、能動的な規制当局による監視が終了した後の施設の間接的監視と処分施設の記憶の維持は、恐らくは中央政府または地方政府を經由して社会の責任となるべきである。社会が間接的監視の形態と記憶を可能な限り長く維持することを期待する人がいるかもしれない。しかしながら、遠い将来にわたってそれらが維持される保証はない。

(39) 能動的な規制当局による監視が終わった後に、監視を続ける1つの手段は、地層処分施設の存在の記憶や記録の維持である。土地使用に対する制限のようなその他の措置が、さまざまなステークホルダーとの交流を通じて当局によって決定され、適用され続けることも考えられる。施設の記憶を維持するための措置を講じることは、不注意による人間侵入の可能性を低減するのに役立つと思われる。また、意図的な立ち入りが将来必要になった場合、その正当化と計画立案に役立つとも考えられる。処分施設の存在に関する記憶は、遠い将来のいずれかの時点で失われると考えられる。地層処分施設の位置選定と施設の技術的な設計が、不注意による施設への侵入を阻止する、その時点で残存する「内蔵された管理」となる。

(40) 複数の国のアプローチにおいて、操業開始後数十年間継続するサイトの直接的監視をもたらす定置と埋め戻し戦略が計画されている。将来意思決定を行う人々がどのような判断基準を使用するか知ることは不可能である。監視の変遷に関して行われるべきさまざまな意思決定は、ステークホルダーと議論されるべきである。

4. 地層処分施設の存続期間中の ICRP 防護体系の適用

(41) 本報告書に関連する 2007 年勧告 (ICRP, 2007) の主要な特徴は以下の通りである。

- 行為と介入を使った従来のプロセス・ベースの防護アプローチから、2007 年 ICRP 勧告が計画被ばく状況、緊急時被ばく状況および現存被ばく状況として特徴づけている、すべての制御可能な被ばく状況に放射線防護の基本原則を適用する状況ベースのアプローチに移行することによって、進展させたこと。
- 委員会の 3 つの放射線防護基本原則、すなわち、正当化、線量限度および最適化の堅持と、それらの原則が被ばくをもたらす線源と被ばくを受ける個人にどのように適用されるかを明確にしていること。
- 防護の最適化原則はすべての被ばく状況に対して同じように適用されるべきであり、個人の線量とリスクの制限を用いて、すなわち、計画被ばく状況では線量拘束値とリスク拘束値を、そして、緊急時被ばく状況と現存被ばく状況には参考レベルを用いて、最適化原則を更に強化したこと。

4.1 被ばく状況

(42) *Publication 103* の勧告は、計画被ばく状況、現存被ばく状況および緊急時被ばく状況の 3 種類の被ばく状況について防護体系を組み立てている (ICRP, 2007, 176 項)。

- 計画被ばく状況は、意図的に導入した線源の運用をともなう日常的な状況である。計画被ばく状況では、合理的に予想される被ばく (通常の被ばく)、そして、被ばくの評価に大きな不確実性が存在する遠い将来にもたらされる被ばくと同様に、計画した運用手順からの逸脱後に起こる可能性のある被ばく (潜在被ばく) の両方が発生する可能性がある。これらの潜在被ばくは計画段階で考慮することができる。
- 緊急時被ばく状況は、計画された線源の制御の喪失、または、なんらかの予想外の状況 (例えば悪意のある事象) から生じる被ばく状況であり、好ましくない被ばくを回避または低減するための緊急対策が必要となる。
- 現存被ばく状況は、線源を制御するための決定が行われるときにすでに存在している線源から生じる状況である (自然放射線、過去の活動または緊急事態後)。

(43) 委員会は、長寿命放射性固体廃棄物の地層処分の予想される変化に付随する人間と

環境への潜在被ばくを計画的被ばく状況と見なしている。線源の管理は意図的および明確に計画されており、そして地層処分施設の操業段階および操業後段階時に最適化された防護が確保されるようにするための制御を提供する義務がある。しかし、通常予想され、そして計画される活動の一部とは思われない、なんらかの特定の状況が発生することも考えられる。それらの状況を以下で検討する。

4.2 基本的な放射線防護原則

(44) 3つの基本原則の定義とそれらの原則を廃棄物処分へ適用する際の基本的な考慮事項は以下の通りである。

- 正当化の原則：「被ばく状況を変化させるいかなる決定も、害よりも便益を大きくすべきである」。被ばく状況を引き起こすあらゆる行為は、正当化される必要がある。委員会は、既に、放射性廃棄物管理と処分活動は廃棄物を発生させる行為と一体不可欠であると述べている (ICRP, 1997 b)。放射性廃棄物管理と処分活動を、それ自体の正当化を必要とする独立した行為と考えるのは誤りである。したがって、それらの行為の正当化には、発生する廃棄物の管理オプション、例えば地層処分を含めるべきである。行為の正当化は、新たなそして重要な情報が利用可能となった時にはいつでも、その行為の寿命期間にわたって再評価されるべきである。そのような情報は、社会的、技術的、科学的理由により出現するかもしれない。もし、もはや運用が行われていない行為の正当化において廃棄物管理が考慮されていなかった場合、委員会は、そのような行為の正当化の検討とは別個に、人間と環境の防護を最適化することを勧告する。
- 防護の最適化の原則：「被ばくの生じる可能性、被ばくする人の数、及びその人たちの個人線量の大きさは、すべて、経済的及び社会的要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保たれるべきである」。ICRP *Publication 103* において明確に述べられているように、最適化は最も重要であり、その役割は強化されている。最適化は、本報告書（詳細は第 4.8 節参照）で論じているように、長寿命放射性固体廃棄物の処分に ICRP の防護体系を適用する際の重要な指導原則でもある。この原則の実際の適用には、線源固有の線量拘束値の使用を含んでいる。
- 線量限度の適用の原則：「患者の医療被ばくを除く計画被ばく状況においては、規制された線源からのいかなる個人への総線量も、委員会が定める適切な限度を超えるべきでない。」。放射性廃棄物管理に対しては、ICRP *Publication 81* (ICRP, 1998, 36 項) の以下の総論が、引き続き適用される。「委員会は引き続き線量限度を勧告するが、委員会は、『公衆被ばくに対する線量限度が実際に制限要因になることはまれである』 (ICRP, 1997 b, 36 項) と認識している。さらに委員会は『...線量限度を廃棄物処分へ適用することには本質的な困難があ

り』(ICRP, 1997 b, 19 項), また, 拘束値を組み込んだ最適化の過程を通じて公衆被ばくを管理することによって『放射性廃棄物処分の管理に公衆被ばくの線量限度を直接使用する必要はなくなるであろう』(ICRP, 1997 b, 48 項) と考える。」

4.3 線量とリスクの概念

(45) 職業的に被ばくをする作業者と公衆の構成員の両者に対する放射線防護において実効線量を用いることの主なかつ第1の理由は, 防護の計画と最適化のための線量の予測的評価, 及び線量限度の遵守を実証するための適切的な線量評価, あるいは線量拘束値もしくは参考レベルとの比較のためである(ICRP, 2007, 153 項)。実際の放射線防護への適用においては, 実効線量は, 防護基準の遵守の実証のために使用される。

(46) 潜在被ばくは, 被ばくが確実にもたらされると予想されていないが, 設備の故障と誤操作を含め, ある線源での事故もしくは確率論的性質を有する1つの事象あるいは連続する複数の事象から起こる可能性のある被ばくである(ICRP, 1993, 1997 a)。そのような事象に関連したリスクは, ある線量を引き起こす予想外の事象が起こる確率の関数と, そしてその線量による損害の確率の関数である。結果として生じる健康影響の確率を乗じた線量の確率を組み合わせる統合アプローチを適用する際に, リスク拘束値が潜在被ばくに適用される。作業者の潜在被ばくについては, 委員会は, 2×10^{-4} /年の一般的リスク拘束値を引き続き勧告している。公衆の潜在被ばくについては, 委員会は, 1×10^{-5} /年のリスク拘束値, あるいは, 各シナリオの線量と確率との分解アプローチを採用する場合には線量拘束値を適用することを引き続き勧告する。将来起こるかもしれない被ばくを巡る不確実性が相当程度あることから, そのような被ばくは潜在被ばくと考えることができる。

(47) 地層処分施設に対する間接的監視期間中および無監視期間の放射線被ばくは, 潜在被ばくとみなされる。長期間にわたるリスクを推定した結果は, その仮定に不確実性が内在するため, 慎重に解釈されるべきである。標準人のリスク評価を通じた操業後の放射線影響の評価は, 将来の放射線影響の予測というよりはむしろ, システムの頑健性の指標または例示を提供するにすぎない。最適化の目的のためには, リスクの数値評価をリスク拘束値の数値と比較すべきである。しかし, この比較は拘束値に対する厳格な適合を意味するものではないことを認識しなければならない。これらの潜在被ばくについても, 委員会は, リスク拘束値の値を 1×10^{-5} /年とすべきであると勧告する。将来の非常に長い時間にわたって数値判断基準を厳格に適用することは不適切かもしれない。

(48) ある施設について, その施設の間接的監視期間および無監視期間に想定される一連の変遷シナリオを超える極めて稀な事象を考慮する際には, 様式化されたシナリオまたは簡素化されたシナリオを使って潜在的な放射線影響を推定するのが適切と思われる。それらの解析

の結果は、必要に応じて、線量またはリスクの数値と比較することによってシステムの頑健性の指標として使用することができる。本アプローチを採用する場合には、現存被ばく状況および/または緊急時被ばく状況について定められた参考レベルの適用が勧告される。極めて可能性が低い事象と人間侵入の考慮は、通常、設計基準シナリオでの潜在被ばくとは別個に行われる。極めて稀な事象の取扱いは、サイト間でも、それぞれの国のアプローチ間でも変わるであろう。

4.4 操業段階での防護

(49) 廃棄物定置作業には、原子力施設に適用されるのと同じ線量限度の原則と拘束値以下で最適化しなければならないという要件が適用される。職業被ばくと公衆の被ばくはいずれも、輸送、取扱い、処分活動から起こると予想され、したがって、通常の操作からの逸脱に起因する潜在被ばくを含め、計画被ばくに該当する。低確率/高影響起因事象により異常事象が発生する可能性も存在し、そのうちのいくつかが緊急時状況に至る可能性がある。操業は、委員会の2007年勧告に従って最適化されることが期待されるであろう。5年間平均で20 mSv/年という作業員の年線量限度が、線量拘束値以下で防護を最適化するという要件とともに適用される。公衆に対して勧告されている線量拘束値は、個々の線源に対して0.3 mSv/年である。

(50) 典型的な処分施設については、その安全評価が、定置期間中および適切に立地、操業、密閉された処分施設が能動的に観察、モニターされている期間中には、大量の放出が起こる可能性は低いことを示唆している。したがって、いくつかの被ばくは、事故によるものであるため、計画被ばくの中の潜在被ばくサブセットの一部として分類され、そして、残りは通常の被ばくに分類される。

4.5 操業後段階の防護

(51) 直接的監視期間終了時は、職業被ばくは、次の2つの限られた被ばくの範囲で考慮すべきである。(1) 間接的監視期間中の施設およびその周辺の間接的モニタリング（主に環境モニタリング）に係る被ばく、(2) 地表施設の廃止措置後の残留放射能による被ばく。操業後段階が相当長期間になる可能性があることを考慮すると、たとえシステムが意図どおりに機能したとしても（すなわち、操業時、建設時または事故時の手順からの逸脱がない場合であっても）、最終的には多少の放射性物質が放出される可能性は地層処分の概念に内在するものである、そしてこのことが公衆被ばくにつながるかもしれない。これらの非常に長期の潜在的な放射性物質の放出とそれ以降の被ばくは、さまざまなシナリオから生じると想定される。被ばくは予見され、それが起こる確率も割り当てられるかもしれないが、それらはやはり本質的には不確実である。これらの被ばくの評価は、代替施設の設計オプションの比較や、廃棄物を閉じ

込めて隔離するシステムの能力に関する規制上の判断を導き出す目的に役立つ。そのような評価は予測とはみなされず、特定の個人または集団の防護に使用することを意図してもない。そのような被ばくは、実際には、実効線量とそれに関連する放射線リスクのような確立された概念を慎重に使用しなければならないほどの非常に遠い将来に起こると予測されるかもしれない。*Publication 103* に述べられているように「(……) 線量推定値は、今後数百年程度を越える期間の後の健康損害の尺度とみなすべきでない。むしろ、それは、処分のシステムによって与えられる防護の指標を示している」(ICRP, 2007, 265 項)。

(52) 施設の操業期間の遙か後には、なんらかの放出が起こると予想される。そのため、そのような放出の直接的な原因は、事業者の管理を超えていると思われる。そのような放出の時期と規模は、最も広い意味を除けば、利用できる最良のアプローチを使っても予測できず、それゆえそれらの放出は潜在被ばくとみなされる。さらに、そのような放出がもし発生したとしても、遠い将来に、放出箇所での被ばく集団の存在に加えて、その集団の防護措置および/または是正措置の履行能力をどのような確実度であれ仮定することができない。

(53) 定置された廃棄物による潜在被ばくを評価するプロセスには、岩石圏から生物圏への輸送モデリングを含め、工学的施設からの放射性核種の放出の潜在的メカニズムや人間と環境の被ばくを引き起こす可能性のあるしかるべき環境コンパートメントへの放出を解明することが含まれている。知識のレベルに応じて、これらの放出シナリオに対して確率が推定される場合も考えられる。しかし、地層処分想定されている長期の時間的尺度では、生物圏、そしておそらく岩石圏と工学的システムの変遷により、これらの確率の不確実性は高まる。それゆえ、長い時間的尺度では、線量推定値やリスク推定値の結果は定性的に解釈する必要がある。

(54) 将来世代に過度の負担をかけることを避けるという原則に反するので、遠い将来における地層処分施設の予想される変遷は、その影響を緩和するために能動的関与を必要とすべきではない。したがって、委員会は、定置された廃棄物による潜在被ばくに線量拘束値 0.3 mSv/年 (予想される変遷シナリオに対して) または年間リスク拘束値 1×10^{-5} のいずれかを使用すべきであるという *Publication 103* (ICRP, 2007) の勧告を引き続き支持する²⁾。次の2つのアプローチが考えられるであろう。すなわち、(1) 線量と確率を結合することによるリスクを統合し、そして結果をリスク拘束値と比較すること、(2) 被ばくごとに線量と対応する発生確率を別々に提示し、その線量を受ける確率を検討することによって補完された線量拘束値との比較。*Publication 81, 82, 101* および *103* (ICRP, 1998, 1999, 2006, 2007) に記されているように、委員会は、これらの2つのアプローチによって同水準の防護を達成することができたとしても、なんらかの線量を発生させるある特定の状況が発生する確率とその結果として生じ

2) 地層処分施設の規制管理が無期限に続くことは想定されていないとしても、地層処分施設での長寿命有害廃棄物の処分は、規制免除または廃棄物のクリアランスとはまったく異なる概念であり、したがってクリアランスの線量判断基準は適用されない。

る線量を別個に検討することによって、リスク情報に基づいた意思決定に到達するための情報がより多く得られるかもしれないと考える。さらに、分解アプローチは、シナリオの発生確率の正確な定量化を必要とせず、むしろ各シナリオについて推定される確率の大きさに見合う放射線影響の評価を必要とする点に注目する必要がある。

(55) 遠い将来において、処分施設の存在の記憶が失われて、監視措置がもはや実施されなくなっているときには、人々が処分施設を「再発見する」可能性がある。再発見は、生物圏へのごくわずかな放出を観察することによって、処分施設の健全性を損なうことはないかもしれないし（例えばリモートセンシング）、あるいは、不注意による場合であろうと、再発見が閉じ込めを直接破壊するかもしれず、それが環境の汚染を引き起こす可能性もある。現在のガイドラインでは、この種の状況は現存被ばく状況とみなされ、同じようなアプローチが将来適用されると仮定されるかもしれない。

4.6 特定の状況での防護

4.6.1 自然の破壊的事象

(56) 間接的監視期間中や無監視期間に、処分施設とその周囲の環境が、自然事象（例えば地震）によって影響を受けるか変化することが考えられる。将来におけるさまざまなシナリオを現在の知識から想定することができる。これらの事象については、発生の確率と時間枠を推定するか、それらの境界を示すことが可能であると考えられており、そしてその結果として生じる健康影響は、リスク情報を利用した廃棄物管理の意思決定を行う際に考慮されるべきである。これらの自然事象は、通常、設計基準シナリオの範囲に含まれる。

(57) 設計基準に比べて確率が非常に低い自然の破壊的事象が起こる可能性があり、それらの事象の内のいくつかは、処分施設に著しい擾乱や放射性物質の移動を引き起こす可能性がある。これらのタイプの事象の例としては、地殻構造の変動事象、隕石の衝突などによるなんらかの大きな地形変化などが挙げられる。委員会は、関連するステークホルダーの参加の下に、人々と環境に著しい被ばくをもたらすおそれのある自然の破壊的事象に対して戦略を策定することを勧告する。アプローチとしては、リスク評価プロセスで低確率事象を考慮から除外する手法、そのような事象の確率を最小限に抑える特性を有するサイトを選ぶ手法、あるいは様式化した評価を通じて特定の事象を評価する手法を確立する、などが考えられる。

(58) 従来、委員会は、破壊的なものもそうでないものも含め、すべての自然事象を同じ枠組みの中で考慮していた（ICRP, 1998）。現在、委員会は、2つの異なるタイプの自然事象を別々に考慮すべきであると勧告する。設計基準変遷に含まれる自然事象については、委員会は、計画被ばく状況に対するリスク拘束値または線量拘束値を適用することを勧告する。設計基準変遷で考慮されていない過酷な自然の破壊的事象については、計画被ばく状況に対するリ

スク拘束値または線量拘束値は適用しない。処分施設の（直接的または間接的）監視がまだ存在する時点で事象が発生すれば、それに引き続いて起こる状況は監督官庁が考慮し、適切な防護措置が実施されるであろう。*Publication 103* (ICRP, 2007) が、その時点でまだ当てはまるならば、緊急時被ばく状況の参考レベルが適用され、それに続いて現存被ばく状況の参考レベルが適用されると予想される。処分施設の監視が終わった後にそのような破壊的事象が起こった場合は、規制当局が擾乱に気づく、あるいは被ばく源を理解するという保証はない。したがって、当該線源を制御するための適切な対策が、確信を持って履行されるとは考えることはできない。当局が最終的に擾乱に気づけば、その時点の規制基準にふさわしい行動が採られると予想される。

(59) 過酷な破壊的事象の潜在的な影響が、様式化または簡素化された計算を使用して設計段階において推定されるかもしれない。もし必要ならば、システムの頑健性の指標は、これらの結果と線量またはリスクの数値とを比較することによって得られるであろう。もしこのアプローチが採用された場合、適切な参考レベルは、シナリオに応じ、現存被ばく状況の参考レベル、もしくは、緊急時被ばく状況の参考レベルになるであろう。処分施設の最適な設計によっても、過酷な破壊的事象からの線量分布は、一部が参考レベルを越える場合も考えられる点に留意する必要がある。

(60) 緊急時被ばく状況については、委員会は、20-100 mSv の範囲の参考レベルを勧告するとともに、被ばくを参考レベル以下で、経済的および社会的要因を考慮して合理的に達成可能なかぎり低いレベルに抑える防護戦略を開発することを勧告している (ICRP, 2009 a)。

(61) *Publication 103* (ICRP, 2007) によると、自然の破壊的事象（緊急段階を伴う場合も伴わない場合も含めて）から生じる長期被ばくは「現存被ばく状況」と呼ばれるべきであるし、防護戦略を最適化するために勧告された参考レベルは 1 mSv/年から 20 mSv/年の間である。*Publication 111* (ICRP, 2009 b) の委員会の勧告に沿って、参考レベルはこの領域の低い部分（例えば 1 年につき数 mSv の範囲）から選ばれるべきである。

4.6.2 不注意による人間侵入

(62) 廃棄物は、閉じ込めと隔離（その 1 つの側面は人間侵入の回避である）の目的のために、地層処分施設で処分される。施設への人間の意図的な侵入と不注意による侵入を区別することが必要である。前者については、意図的な侵入者（すなわち施設の性質を知っている人）を防護することは現在の世代の責任の範囲外にあると考えられるため、これ以上本報告書では論じていない。施設の設計と立地は、不注意による人間侵入の可能性を低減する機能を含まなければならない。

(63) 施設への掘削など、不注意による人間侵入から生じる放出は、岩石圏と生物圏を通じて移行し、侵入事象に間接的に関連する、あるいは、それに付随する被ばくをもたらしと考

えられる。不注意による人間侵入は、地表に廃棄物をもたらす可能性もあり、その結果、侵入者と近隣住民の直接被ばくにつながる可能性がある。これは、高められた被ばくと大量の線量の可能性をもたらすが、廃棄物を希釈あるいは分散させるよりむしろ、廃棄物を隔離し、濃縮するという決定にともなう不可避の帰結である。

(64) 人間侵入に関連した被ばくからの防護は、そのような事象が発生する可能性を低減する努力によって最もよく達成される。そうした努力には、侵入をより難しくするように地表から遠く離して処分施設を立地する、価値のある資源が予想されるところを避ける、頑健に設計された機能を取り入れる、もしくは、既存の間接的監視のための措置（土地使用に対する規制、環境モニタリング・プログラム、保障措置協定に基づく監視、記録の保存、サイトの標識）の使用を含むと考えられる。特定のサイトにおける不注意による人間侵入の実際の確率は、将来の人間の行動によるので総じて知りえないが、直接のおよび間接的監視期間中の不注意による侵入の確率は非常に低く、それが起きたとしても適切な対策を講じることにより著しい影響を回避することができると思定される。

(65) 遠い将来、もし間接的監視が終了しているのであれば、人間侵入の発生を排除することができない。したがって、意思決定者は、可能性のある不注意による侵入に対する処分システムの抵抗力を評価するために、1つないし複数の妥当な様式化された侵入シナリオの影響を検討すべきである。侵入リスクの大きさの推定は、必然的に、将来の人間の行動についてなされる仮定に依存する。将来の人間の行動の特徴や確率を予測するための科学的根拠は何ら存在しないため、委員会は従来どおり、そのような事象の確率を定量的な性能評価に組み入れ、線量拘束値またはリスク線量拘束値と比較することは不適切であると考えられる (ICRP, 1998)。計画段階では、様式化または簡素化された計算の結果は、必要に応じて、線量の数値と比較することによりシステムの頑健性の指標として使用することができる。このアプローチを採用する場合は、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況に対して設定された参考レベルを使用することが勧告される。なお、処分施設の最適な設計によっても、不注意による人間侵入からの線量分布は、一部参考レベルを越える場合も考えられる点に留意する必要がある。一旦事象が発生した場合、監督官庁が擾乱に気づくという保証はない。状況が認識されれば、監督官庁はその状況を評価し、そして適切な防護判断基準と対抗策を適用すると思われる。Publication 103 (ICRP, 2007) がその時にまだ存在しているなら、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況の参考レベルは適切であるとして用いられるであろう。線量がこれらの参考レベルを上回ると推定される状況では、人間侵入の確率を低減するかその影響を制限するための合理的な努力がなされるべきである。

(66) 地層処分の場合、侵入は、処分システムの防護の最適化で考慮されたバリアの多くがすり抜けられたことを意味する。将来の社会が、そのような事象から生じる被ばくに気付かない可能性もあることから、地層処分場の立地および設計を通じて、必要とされるあらゆる防

防護対策を処分施設の開発時に考慮すべきである。さらに、人間侵入に対する処分システムの頑健性の評価（65項参照）は、セーフティケースに対する信頼を高めることにもつながる。

4.7 監視に対応する被ばく状況の概要

(67) *Publication 103* (ICRP, 2007) において規定されている3つの被ばく状況と線量限度、線量拘束値および参考レベルのこれらの各時間枠への適用を表4.1に示す。表4.1は、操業前段階と操業段階との比較のために、ICRPが勧告している判断基準を示している。これらの期間に、必要に応じて介入が実施されるかもしれない。この表には3つの主な時間枠の期間中に適用される防護体系も示している。

表 4.1 処分施設の変遷、監視の有無とその種類別の放射線被ばく状況

処分施設の状態	監視の種類		
	直接的監視	間接的監視	監視無し
設計基準*変遷	計画（通常および潜在）被ばく状況 [†]	計画（潜在）被ばく状況 ^{†,‡}	計画（潜在）被ばく状況 ^{†,‡}
設計基準外の変遷 [§]	被ばく時点では緊急時被ばく状況、その後は現存被ばく状況	被ばく時点では緊急時被ばく状況、その後は現存被ばく状況 ^{¶,**}	被ばくが認識された時点で緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況 ^{¶,**}
不注意による人間侵入	該当せず	該当せず	被ばくが認識された時点で緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況 ^{¶,**}

* 設計基準は、施設を設計する際に使用される通常被ばくと潜在被ばくの両方を含む。

[†] 計画段階では：作業員に対する20 mSv/年の線量限度と事業者が規定する線量拘束値；すべての線源からの公衆被ばくに対する線量限度は1 mSv/年と廃棄物処分のための0.3 mSv/年の線量拘束値。統合アプローチを適用する場合の公衆の潜在被ばくについては、 1×10^{-5} /年のリスク拘束値が勧告される。

[‡] 間接的監視期間または無監視期間には、作業員の線量はないと想定されている。遠い将来に放出があった場合、潜在被ばくを引き起こす（ICRP, 2007, 265項）。線量拘束値またはリスク拘束値との比較は、遠い将来になればなるほど、適合性の観点から見た有用性は低くなる。

[§] 設計基準外の変遷には、人間と環境に著しい被ばくを生じる可能性がある、非常に起こりにくい事象または極端な事象が含まれる。

[¶] このような事象が将来発生した場合、その時点の監督官庁は、それが緊急時被ばく状況なのか、それとも現存被ばく状況なのか、あるいはその時点での対応する被ばくカテゴリに至っているかを判断することになるだろう。*Publication 103* (ICRP, 2007) がその時にまだ存在しているのなら、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況の参考レベルは適切であるとして用いられるであろう。無監視期間では、被ばくはすぐに認識されない可能性がある。

** 計画段階では、潜在的な放射線影響は、通常様式化されたシナリオまたは簡素化されたシナリオを使って評価される。それらの解析の結果は、数値と比較することによって、システムの頑健性の指標として使用することができる。その場合、緊急時被ばく状況および/または現存被ばく状況に定義されている参考レベルを使用することが勧告される。なお、完全に最適化されたシステムであっても、線量分布において、一部の線量が参考レベルを上回る可能性がある点に留意する必要がある（ICRP, 2009 a, 37ページ）。

(68) 設計基準は、一定範囲の異常事象、事故および自然事象を考慮しており、これらの事象をできれば防止するか、またはその影響を緩和することを保証しようとしている。

4.8 防護の最適化と利用可能な最善の技術

(69) 最適化の原則は、被ばくを引き起こす可能性（被ばくを受けることが確実でない場合）、被ばくする人の数および個人線量の大きさを、経済的および社会的要因を考慮して、合理的に達成できる限り低く保つための線源関連のプロセスとして、委員会（ICRP, 2006, 2007）によって定義されている。最適化プロセスの一般的勧告は、*Publication 101*（ICRP, 2006）で述べられている。

(70) ICRP の放射線防護の最適化原則は、地層処分システムの開発と履行に適用するときには、システムの防護能力を強化し、影響（放射線影響およびその他の影響）を低減するための各種オプションの反復的、系統的、そして透明性のある評価として、広い意味で理解されるべきである。

(71) 防護の最適化は、処分システムの主たる目的、すなわち、廃棄物中の放射性物質をできるかぎり閉じ込めることにより、そして、廃棄物を人、環境および生物圏から隔離することにより、現在そして将来にわたって人間と環境を防護することに取り組むべきである。防護の最適化は、操業期間中の作業員、公衆および環境の防護だけでなく、監視が無い可能性のある期間を含む将来の世代の防護も同様に取り組まなければならない。長期にわたり、そして特に、無監視期間にも、安全性は受動的に機能する処分システムの遺産によって確保されなければならない。

(72) 地層処分システムの開発と履行に関する段階的な意思決定プロセスが、最適化プロセスの枠組みを構成する。中心的な構成要素としての最適化と利用可能な最善の技術の適用は、処分システムのすべての要素 [すなわち、サイト（設置地質構造を含む）、施設設計、廃棄物パッケージ設計、廃棄物の特徴]、そして関連するすべての期間を統合アプローチで取り扱わなければならない。

(73) 防護の最適化は、開発者の責任であり、安全当局および環境保護当局、地元社会、並びにその他のステークホルダーと連携して、多角的な意思決定を行わなければならない。したがって、地層処分システムのための適正な最適化プロセスの筋道や最適化プロセスの最終結果の成功判断基準を演繹的に定義することは不可能である。

(74) 社会経済要因（政策意思決定や社会の受容性の問題を含む）は、例えば、利用できるオプション（例えば立地）を制限することによって、および/または、更なる条件（例えば回収可能性）を設定することによって、さまざまな程度で最適化プロセスを制限することができる。これらの考察が、関連するすべてのステークホルダーに対して透明性のある方法で提示さ

れ、それらの安全への意味合いが一般的にかつ広く理解されることが重要である (OECD/NEA, 2011)。

(75) 最適化は継続的な取り組みであるが、その段階的プロセスにおいて、すべての関連するステークホルダーが最適化プロセスの結果を判断でき、そしてシステムのさまざまな要素を改善する方法を示すことができる節目を設定しなければならない。

(76) 最適化のプロセスは、操業前、操業時および操業後の各段階で相当に異なる。操業段階では、大規模原子力施設に対する一般的勧告を適用する。操業段階で得られた経験を、当面の改善や近い将来の改善の考慮に入れることにより、定置作業による作業者と公衆の双方の被ばくを低減することができる。

(77) 操業後段階の最適化のほとんどすべての面が、設計段階の一部である施設を閉鎖するための計画とともに、廃棄物定置より前の、主に立地と設計段階で生じなければならない。操業段階では、操業後段階で提供されることになる防護の更なる最適化がまだ可能である。たとえば、新しい材料または技術が利用できるようになることも考えられる。施設の一部を閉鎖 (例えば処分空間の密閉) する間に得られた経験が、施設全体の閉鎖の計画立案における改善につながることを考えられる。

(78) 操業後段階では、処分システムの能動的活動はない。廃棄物は定置され、人間と環境の防護は主に処分システムの受動的な隔離と閉じ込め能力に基づいている。したがって、操業後段階の最適化の決定は、閉鎖された処分システムの間接的監視の措置に関するものだけになると考えられる。

(79) 地層処分施設の立地、設計および履行により頑健な長期隔離と閉じ込めが可能になり、その結果、人間と環境への潜在的影響は非常に遠い将来にだけ生じるようになる。したがって、すでに説明したように、標準人の実効線量又はリスクの評価を通じた閉鎖後の放射線影響の評価は、時間の経過とともに不確実性が高まることや注意深く仮定を設定しなければならないことからすれば、将来の放射線影響の予測ではなく、むしろ処分システムの頑健性の指標または例示を提示するにすぎない。したがって、遠い将来を考える場合、線量とリスクの値は、本来の意味を失い、潜在的な放射線影響の相対的な比較器としての価値しか保持しない。

(80) 最適化プロセスを導き、あるいは、方向付ける要素は、建設時、操業時および閉鎖時における施設の構成要素の品質を直接または間接的に決定する要素であるべきである。ここで品質とは、頑健なやり方で閉じ込めと隔離の安全機能を達成する構成要素の能力を指す。システム構成要素の品質の評価と判断には、基本的に、サイト特性、良好事例の概念だけでなく、利用可能な最善の技術の要素、健全な工学技術、そして管理原則を含んでいる。これらの要素は、遠い将来の潜在的影響を扱わなければならない場合には、放射線学的な最適化を補完し、支援する。

(81) 開発または履行されたシステム設計の品質の判断は、良く構成された透明性のある

プロセスで、関連するすべてのステークホルダーが参加してなされるべきであるし、必要な場合は、それに対し批判的な視点から再検討されるべきである。このプロセスの核心は、他のすべてのステークホルダーにとって透明性がある、開発者と安全当局の間の相互作用である。

(82) より遠い将来における安全性を取り扱う場合、処分システムのさまざまなレベルに利用可能な最善の技術の概念を適用することによって、最適化を補完し、支援することができる。具体的には、

- 現在そして遠い将来における閉じ込めおよび隔離の能力を評価するため、サイトの特性評価の方法論的かつ科学的なプログラムを特定し、選択するための方法論
- 材料と技術の選択を含めたシステム設計の開発、そして、サイトの特性を考慮に入れて、閉じ込めと隔離という主要な目的にそれらが個別または統合して寄与する方法の開発
- 廃棄物、サイトおよび設計の特性の1つの処分システム内への統合、並びにシステム全体としての閉じ込めと隔離の能力の反復的評価
- 統合化されたマネジメントシステムの範囲内でのシステムの建設、操業および閉鎖時における健全なマネジメント手法および工学的手法並びに慣行の使用

(83) 放射線学的な判断基準（実効線量とリスク）に基づく最適化は、処分システムに特有の期間そして特有の観点に関して、処分システムを設計、履行するプロセスの最適化の重要な部分である（例えば、設計開発段階や操業手順と活動の準備および履行段階で作業の安全性を評価する場合）。

(84) 処分システムの開発において、処分システムのさまざまな要素を総合的に最適化する方法には、いろいろなやり方がある。第1に、段階的な最適化に関する意思決定は、主に時系列順に行わなければならない（例えば、母岩の選択に関する意思決定および1つまたは限られた数のサイトの選択に関する意思決定は、多くの場合、詳細な設計についての意思決定の前に行われる）。サイトの選択については、処分システムの安全性に関連した技術的判断基準（長期安定性、放射性核種移行に対するバリア、周辺の天然資源の存在の有無）と地域またはより広域での経済的、社会的要因とを両立させなければならない。第1段階では、望ましいサイトを、処分システムの天然バリアと自然環境の閉じ込め機能と隔離機能を考慮に入れて、幅広く定義された「必要とされる特性」に基づいて特定することができる。

(85) いくつかの適切なサイト候補を特定し、そして評価することができるならば、どの母岩またはサイトにするかの決定は、常に、定性的判断と定量的判断の両方に基づいた複数要因を考慮した決定となる。この多元的な決定において、放射線学的な判断基準（例えば、実効線量またはリスクの計算値）は、(1) 評価の時間的尺度が長くなればなるほど不確実性が高まること、(2) 設計基準となる放射線影響の計算値は、多くの場合、サイト選択における判定要因とはならないぐらいに非常に低いという観察、により、しばしば、限られた価値しか持っていない。

(86) 処分システムの頑健性の評価は、システムの最適化に貢献することができる。なぜなら、その評価は、処分システムとその構成要素の性能に対して、そして、システム全体へのさまざまな構成要素の相対的な寄与に対して、定量的または定性的な洞察を与えるからである。したがって、最適化プロセスのためのそのような評価の価値は、主として、閉じ込めと隔離というシステム全体の目的に対するさまざまな構成要素の相対的寄与と、これらの相対的寄与が擾乱事象とプロセスによってあるいは残余の不確実性によってどれくらい影響を受ける可能性があるかについて洞察することにある。非常に遠い将来に起こると推定される実効線量とリスクの計算値の不確実性は、最適化プロセスでのそれらの有用性を減じてしまう。

4.9 技術上および管理上の原則と要件

(87) 放射性廃棄物の処分に関する委員会の勧告を総合的に履行していくには、組織面と管理面の体制とプロセスを整備し、技術的な原則を適用することが必要となる。組織の体制とプロセスは国ごとに異なるかもしれないが、それはマネジメントシステムに関する国際原子力機関（IAEA）の基本的安全原則と安全基準において定められている原則に基づくべきである（IAEA, 2006, 2009）。

(88) 人間と環境の防護が必要とされるかぎり確保されるという信頼を強化するため、委員会は、処分システムの開発・履行プロセスにマネジメントの原則と要件を適用すべきであると勧告する。それには、マネジメントシステムが依拠する基本原則としての安全とともに、安全性、健康、環境、セキュリティ、品質および経済的な要素を統合するマネジメントシステムを履行する必要がある。（OECD/NEA, 2007, 2010）。

(89) マネジメントシステムは、以下のことを行うために重要な役割を演じる。

- 安全に関わる活動の計画立案、管理および監督を通じて、系統だったやり方で組織の安全に対する能力を向上させる。
- 安全に関わるすべての任務に関係する個人とチームの良好な態度と行動を育成・強化することを通じて、強固な安全文化を醸成および支援する。
- 高い安全レベルを確保するための基本的要素として、放射性廃棄物処分に関する知識、能力および技術を維持し、さらに発展させる。これは、学術研究と技術開発、一連のセーフティケースから得られる洞察、操業経験を通じた学習、そしてすべての関係者間の技術的協力を組合せることに基づくべきである。独立したレビュー、情報の透明性とアクセスのしやすさに加えて、ステークホルダー参加の道が開かれていることも高い安全レベルを確保するうえで重要な要因である。

(90) 処分システムを開発し、それらの安全性を評価するうえで鍵となる技術原則は、深層防護の概念である。これによって、一連の受動的な安全対策が提供され、処分システムが頑

健全で十分な安全裕度を有するという信頼を高めることができる。処分システムに適用される深層防護の概念は、さまざまな時間的尺度にわたって、さまざまな方法で主要な安全機能を果たすことに寄与するシステムの異なる構成要素によって安全が確保されることを課している。主要な安全機能の達成に寄与する異なる構成要素の性能は、システムの全体性能が1つの構成要素または機能に過度に依存しないように、多様な物理的および化学的なプロセスによって達成されなければならない。処分システムの立地（天然バリア・システムとその環境の選定）と設計（サイト特性を十分に考慮した人工バリア・システムの開発）の主要な安全目的は、閉鎖後の安全性が複数の安全機能によって確保され、たとえ構成要素や安全機能が予想通りに完全な性能を発揮しない場合であっても、十分な安全裕度が残るようにすることである。

5. エンドポイントの考慮事項

5.1 代表的個人

(91) 委員会は、*Publication 101* (ICRP, 2006) の被ばくの評価に関する委員会の勧告を一般的な指針として適用することを考えている。委員会は、計画被ばく状況に対しては、通常は、代表的個人の年間線量に基づいて被ばくを評価すべきであると勧告している。

(92) 操業段階では、作業者と公衆の被ばく管理は、他の施設の場合と同じであるべきである。操業後段階では、考慮される時間的尺度が長いことから、施設の立地環境の特性と同様に、代表的個人の習慣と特徴は推測の産物となる。その場合には、そのような代表的個人は、仮想的な、様式化されたものにならざるを得ない。遠い将来における個人に対して仮定される習慣と特徴は、人の寿命の生物学的小および生理学的決定因子のほかに、サイト固有または地域固有の情報も考慮しつつ、適度に保守的で、妥当性のある仮定に基づいて選択すべきである。さらに、多くの場合、遠い将来におけるさまざまなシナリオ（各々には異なる代表的個人が付随する）が検討され、それらの発生確率はそれぞれ異なるであろう。しかし、個別の確率を確立することには問題があるかもしれない。すなわち、最も高い線量に至るシナリオが、最も高いリスクとは結び付かないことも考えられる。したがって、意思決定者は、さまざまなシナリオと、各シナリオに付随する発生確率または各シナリオに対応する確率についての理解のどちらかを明確に提示することが重要である。

(93) *Publication 101* (ICRP, 2006) で述べているように、公衆の防護の目的には、代表的個人は、ある集団の中でより高く被ばくする複数の個人を代表する線量を受ける個人に相当する。したがって、代表的個人は、変遷シナリオについて想定される気候条件を考慮に入れつつ（例えば氷による被覆の考慮）、接近可能な生物圏において放射性核種の濃度が最大となる時点と場所にいるということが仮定されるべきである。人間は遠い将来にこれらの地域にもはや居住していないかもしれないので、これは仮定である。

(94) 代表的個人は、想定される生物圏から独立して定義することはできない。長期的には、自然力の働きによって過去に起こった大きな変化と同じような形で生物圏に大きな変化が生じる可能性がある。人間の行動が生物圏にも影響を及ぼすことが考えられるが、長期にわたる人間のふるまいについては推測することしかできない。シナリオの設定においては、生物圏の変化の考慮は自然力による変化に限定されるべきである。代表的個人と生物圏は、サイトまたは地域固有の情報に基づくサイト固有のアプローチ、または、より一般的な習慣と条件に基

づく様式化されたアプローチのいずれかを使って設定すべきである。様式化されたアプローチの使用は、時間的尺度が長くなればなるほど重要になる。

(95) 委員会は、年線量またはリスクの判断基準との比較に関し、代表的個人の年線量を評価するために3つの年齢カテゴリーを使用することを勧告している (ICRP, 2006) (放射性核種の摂取による年線量は、放射性核種が何年にもわたって線量をもたらし、その期間の長さは体内での放射性核種の生物学的半減期で決定される、という事実に関する要素をすでに含んでいる点に注意すべきである)。これらのカテゴリーは、0-5歳 (幼児)、6-15歳 (子供)、および16-70年 (成人) である。地層処分の場合、いかなる被ばくも遠い将来に起こり、人間の寿命の時間的尺度を超えてゆっくりと変化する環境中での放射性核種のレベルに関係すると予想される。遠い将来にわたっての計算に内在する不確実性を考慮すれば、成人の代表的個人の線量またはリスクは、その集団の中の被ばく量が大きい複数の個人を代表する個人の被ばくを十分に表すであろう。

5.2 環境防護

(96) 環境が施設からの放出による有害な影響から防護されている、あるいは防護されるであろうということを示すことが、国の立法行為や長寿命廃棄物の管理を含む多くの人間の活動に関連して、ますます要求されるようになってきている。ICRPは、*Publication 103* (ICRP, 2007) において直接そして個別に環境防護について述べることによって、そして、*Publication 108* (ICRP, 2008) において概説し、*Publication 114* (ICRP, 2009 c) において補足を行なったように、この問題に対処するための手法を提案することによって、倫理的性格を有するいくつかの他の要求事項 (ICRP, 2003) と同様に、この要求に応じてきている。

(97) ICRPのアプローチは、環境防護について (汚染の存在または資源としての環境に影響を及ぼす可能性のあるその他の要因の存在ではなく)、「生物多様性の維持、種の保存、又は自然の生息環境、群集及び生態系の健康と状態についてインパクトが無視できるレベルになるように、動物相及び植物相に対する有害な影響の発生を防止又は頻度を低減する」(ICRP, 2007, 30項) という目的に基づいて考慮している。環境影響の全面的な評価は、通常、環境影響評価プロセスと環境影響評価報告書において行われるであろう。環境影響評価報告書では、とりわけ、目に見える視覚的な影響、化学毒性の影響、騒音、土地使用、快適性に対する影響などの要素を含めたより幅広い意味での影響が検討される。

(98) 防護のための標準的な手段と防護対策は、ICRPがこれまで記述してきた標準動物および標準植物の一群を使用すべきである。これらの標準動物/植物群については、関連するデータセットが導き出されている (ICRP, 2008, 2009 c)。このデータセットは、その構成要素が、陸上、海中、淡水という主要な環境領域の典型的な生物種であるべきであると考えられて

いるため、慎重に選択されている。本報告書ですでに述べているように、廃棄物処分において考慮される長い時間を通じて生物圏は変化すると考えられ、しかも大幅に変わる可能性さえある。そのような変化は、時間の経過にともない、自然による、もしくは、人間の行動を通じて促進されたり妨害されたりする生物圏の変遷を引き起こす可能性がある。寄与要因としては氷河作用サイクルを含めた気候変動、地盤隆起または沈下などが考えられる。したがって、標準動物および標準植物の使用は、現在の環境または将来における変化した環境において生じうる線量や影響を必要に応じて検討するための少なくとも1つの基準点を提供してくれるはずである。

(99) このように、標準動物および標準植物の使用は、一方では、人間に対して線量／リスク基準に適合していることを実証するという課題に少なくとも似ている廃棄物管理に対する課題を提示しているが、他方では、人間の健康の防護とは相異はあるが、それを補完するエンドポイントを使えば、セーフティケースを作成する際に別の一連の論拠や推論を提供してくれる。このように、環境防護の検討が、適切な場合には、リスク情報を利用した意思決定の基盤を広げ、そしてさまざまなステークホルダーにとってはそれぞれ重要度レベルが異なるさまざまな問題を検討することになる。

(100) 本報告書ですでに述べているように、廃棄物処分において考慮されるような長い時間枠にわたって生物圏は変化すると考えられ、しかも大幅に変わる可能性さえある。そのような変化は、時間の経過にともない、自然による、もしくは、人間の行動を通じて促進されたり妨害されたりする生物圏の変遷を引き起こす可能性がある。寄与要因としては、氷河作用サイクルを含めた気候変動、地盤隆起または沈下などが考えられる。さまざまな生物圏についての現在の知識とそうした生物圏における標準動物および標準植物への影響の評価は、可能性のある生物圏の変化の理解を助け、それにより環境防護に関連した意思決定に必要な情報を提供すると考えられる。

6. 結 論

(101) 本報告書は、*Publication 103* (ICRP, 2007) に記述されている 2007 年 ICRP 放射線防護体系を長寿命放射性固体廃棄物の地層処分にどのように適用できるかについて説明している。本報告書は、地層処分施設の寿命期間中の異なる段階について記述し、そして、遭遇する可能性のあるさまざまな被ばく状況に応じた、各段階に対する放射線防護原則の適用について解説している。特に、処分施設の寿命期間中の各段階における防護体系の適用に影響を及ぼす決定的な要素は、その時点で存在する監視のレベルである。

(102) 本報告書の多くの重要な点が浅地中処分にも当てはまるが、本報告書は、浅地中処分施設やその他の処分オプションの場合における職業的に被ばくする作業員、公衆の構成員および環境の放射線防護に対する以前の ICRP 勧告 (ICRP, 1998) に取って代わるものではない。

参考文献

- IAEA, 1997. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. INFCIRC/546. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2006. Fundamental Safety Principles. Safety Standards Series No. SF-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2009. The Management System for the Disposal of Radioactive Waste. Safety Standards, Safety Guide No. GS-G-3.4, Vienna, Austria.
- ICRP, 1966. Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials. ICRP Publication 7. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
- ICRP, 1985. Principles for the disposal of solid radioactive waste. ICRP Publication 46. Ann. ICRP 15(4).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 1993. Protection from potential exposure : a conceptual framework. ICRP Publication 64. Ann. ICRP 23(1).
- ICRP, 1997 a. Protection from potential exposures : application to selected sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27(2).
- ICRP, 1997 b. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Ann. ICRP 27(Suppl.).
- ICRP, 1998. Protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28(4).
- ICRP, 1999. Protection of the public in situations of prolonged exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29(1/2).
- ICRP, 2003. A framework for assessing the impact of ionising on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33(3).
- ICRP, 2006. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37(2-4).
- ICRP, 2008. Environmental protection : the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4-6).
- ICRP, 2009 a. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39(1).
- ICRP, 2009 b. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3).
- ICRP, 2009 c. Environmental protection : transfer parameters for reference animals and plants. ICRP Publication 114. Ann. ICRP 39(6).
- OECD/NEA, 2007. Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal-Towards a Common Understanding of the Main Objectives and Bases of Safety Criteria. OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2008. Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste-a Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee. OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2010. Main Findings in the International Workshop 'Towards Transparent, Proportionate and Deliverable Regulation for Geological Disposal', 20-22 January 2009, Tokyo, Japan. OECD/

- NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2011. Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel ; Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011). OECD/NEA, Paris, France.

ICRP Publication 122

長寿命放射性固体廃棄物の地層処分における放射線防護

2017年3月31日 初版第1刷発行

監修 本間俊充

翻訳 大越実

編集 ICRP 勧告翻訳検討委員会

発行 公益社団法人日本アイソトープ協会

〒113-8941 東京都文京区本駒込二丁目28番45号

電話 代表 (03)5395-8021

URL <http://www.jrias.or.jp>

© The Japan Radioisotope Association, 2017

Printed in Japan

組版 株式会社 恵友社

ISBN 978-4-89073-263-0 C3340

【非売品】