

## 米国ヤッカマウンテン高レベル放射性廃棄物最終処分場における安全規制について

高木哲一<sup>1</sup>

Tetsuichi Takagi (2005) Summary of safety and regulatory control in the proposed HLW repository at Yucca Mountain, Nevada, USA. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 56 (3/4), p.147 - 157, 4 figs., 3 tables.

**Abstract:** Siting of a proposed high-level nuclear waste repository at the Yucca Mountain, Nevada was federally approved in 2002, and a license application for construction will be submitted from U. S. Department of Energy to U. S. Nuclear Regulatory Commission in 2005, according to the federal regulation of 10 CFR Part 63. U. S. Nuclear Regulatory Commission will strictly review the license application, according to the process and schedule of the federal regulation of 10 CFR Part 2. When NRC judges that contents of the license application and its revised version assure the public health and safety before and after permanent closure of the repository, U. S. Nuclear Regulatory Commission authorizes the construction of the repository and issue the license for its operation.

**Keywords:** nuclear waste, Yucca Mountain, safety, regulatory, license, construction

### 要 旨

米国では、2002年にネバダ州ヤッカマウンテン地域への高レベル放射性廃棄物最終処分場の立地が正式に承認され、2005年に処分場建設のための許可申請書が、10 CFR Part 63に従い、米国エネルギー省から米国原子力規制委員会に提出される予定である。米国原子力規制委員会は、10 CFR Part 2の手順と日程に従って許可申請書の厳正な審査を実施する。許可申請書及び修正された許可申請書の内容が、最終処分場の永久閉鎖前・後において国民の健康と安全を十分に保証するものであると判断された場合、原子力規制委員会は建設認可及び処分場の操業許可証の発行を行う。

### 1. はじめに

米国では、核廃棄物政策法 1982 修正法 (Nuclear waste policy act of 1982, as amended) に基づき、1987年にネバダ州ヤッカマウンテン (Yucca Mountain) 地域が高レベル放射性廃棄物 (使用済み核燃料を含む) 最終処分場の唯一の候補地となって以来、DOE (U. S. Department of Energy: 米国エネルギー省) により 15 年以上にわたり同サイトが適当か否かを判断するための調査・研究が行われてきた。これらの結果は、ヤッカマウンテン科学・工学報告書 (DOE, 2001) 及び最終環境影響評価書 (DOE, 2002) などに取りまとめられ、2001年にエネルギー省長官から大統領へ提出されたサイト推薦報告書に添付された。2002年にヤッカマウンテンサイトの立地承認決議案が、連邦議会上下両院で承認され大統領が署名したことにより、その立地が正式に承認された。これを受けて、2005年には建設認可

のための許可申請書が DOE から NRC (U. S. Nuclear Regulatory Commission: 米国原子力規制委員会) に提出されることになっている。この間の経緯については、原子力環境整備促進・資金管理センター (2003) に詳細に解説されているのでここでは省略する。

日本では2000年の「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の制定により、高レベル放射性廃棄物の地層処分の方針が決定され、地層処分事業が正式に開始された。しかし、最終処分候補地の選定作業はこれからであり、米国と比べて事業のプロセスは少なくとも20年以上遅れていることになる。そこで、本解説では、日本でも将来必ず通過するプロセスである最終処分場の安全規制の一例として、ヤッカマウンテン最終処分場の安全規制について、その方針と法律の概要等を紹介する。

### 2. 米国における放射性廃棄物行政の特徴

米国では、原子力行政、とりわけ放射性廃棄物の処分や原子力発電所の廃止など国民の健康と安全に密接に関わる課題については、実施側と規制側の分離が厳格に行われている。実施側主体はDOEであり、民間の原子力発電所から発生した放射性廃棄物の処分費用は民間 (電力会社等) から拠出されるが、最終処分の実施責任はDOEにある。実施側は、米国地質調査所をはじめ、ロス・アラモス国立研究所、ローレンス・バークレー国立研究所、ローレンス・リバモア国立研究所、サンディア国立研究所など多数の国家機関が調査・研究やDOEへの技術支援を行っており、ヤッカマウンテンプロジェクトだけで、これらの研究機関に投入された調査・研究予算はこれまでに数十億ドルに上る。一

<sup>1</sup>深部地質環境研究センター (Research Center for Deep Geological Environments, GSJ)

方、規制側主体はNRCである。規制側は、民間の非営利研究機関であるサウスウエスト研究所内に設置されている放射性廃棄物規制解析センター（CNWRA：月村，2004参照）が、調査・研究、NRCへの技術支援を行っている。規制側機関は実施側機関から提出された申請・報告等の厳正なピア・レビューを行い、それらの適法性や安全性を確認した上で、NRCが処分場の建設・処分場の操業等の許認可を行う。これら規制側機関は、上部機関・構成職員・予算も含めて実施側機関とは全く重複していない。

上記の機関のほか、放射性廃棄物から発生する放射線による被曝から国民の健康と自然環境を守るための基準作成には、EPA（U. S. Environmental Protection Agency：米国環境保護庁）が関わっている。放射性廃棄物のヤッカマウンテン最終処分場への輸送を規制・ガイドラインに則って確実にを行うための作業員の訓練等は、DOT（U. S. Department of Transportation：米国運輸省）が担当している。ヤッカマウンテン最終処分場建設時の作業員の健康・安全保護及び被雇用者の保護活動（地層処分事業に係る違反行為・不法行為を被雇用者がNRC等に報告すること）に関しては、DOL（U. S. Department of Labor：米国労働省）がそれらを保障する責務を負っている。

### 3. ヤッカマウンテン最終処分場 建設の許認可プロセス

ヤッカマウンテン最終処分場の建設許認可は、建設認可（Construction authorization）と操業許可証（License）発行の2段階から構成される。建設・操業の許認可は、連邦規制集 10 CFR Part 63「ネバダ州ヤッカマウンテン地層貯蔵施設への高レベル放射性廃棄物の処分」に従ってDOEからNRCに提出される許可申請書に基づいて行われる。

#### 3.1 建設認可

許可申請書は、一般情報と安全解析報告書から構成される。一般情報には、最終処分場の地質学的・工学的情報の概観が記載されている。安全解析報告書には、最終処分場がどのように建設・操業・閉鎖されるか、作業員や国民の健康と安全の保護、自然環境の保全をどのように行うか、という内容が記載されており、申請書の主要部を構成する。また、DOEによる環境影響評価書も許可申請書とともに提出される。

許可申請書には、まずNRCにより受付審査が実施される。これは、許可申請書が、受付後に実施される詳細な技術審査に相応しいものであるか否かを判断するための予備的な審査である。許可申請書の内容が不十分であると判断された場合、許可申請書の一部または

全部がDOEに差し戻される。許可申請書がNRCに受付されると、NRCは、その内容の科学性、設計の妥当性などを検討するために、広範な技術審査及び法律で定められた公聴会を実施する。公聴会は、ASLB（Atomic Safety and Licensing Board：原子力安全許認可委員会）に付託され、そこで法的手順に則って実施される。これらの技術審査・公聴会の結果、最終処分場の安全性と作業員・国民の健康が保護されることが十分に保証されるとNRCが判断した場合、建設認可が下される。

#### 3.2 操業許可証の発行

建設認可が下されると、DOEは最終処分場の建設を開始する。最終処分場建設の過程で得られる追加的情報により、NRCの要請によって許可申請書は修正が加えられることになる。最終的な許可申請書がNRCに受理されることにより、初めて最終処分場の操業許可証が発行され、放射性廃棄物の搬入・定置が開始される。予定された量（現計画では7万トン）の高レベル放射性廃棄物の定置が完了しても、操業開始より原則として50年間は最終処分場を閉鎖せず、定置した放射性廃棄物を回収可能な状態に置くことが義務づけられている。

#### 3.3 操業許可証の終了

高レベル放射性廃棄物の最終処分場への定置が適切に完了し、定められた期間が経過した後、DOEからNRCに対し永久閉鎖のための操業許可証修正の申請が行われる。永久閉鎖がNRCにより許可されると、最終処分場は永久閉鎖され、それに引き続き操業許可証を終了する手続きが行われ、ヤッカマウンテンサイトにおける最終処分事業は終了する。

これら最終処分場の許認可に関連する全ての公文書は、NRCが提供するLSN（Licensing Support Network：許認可支援ネットワーク）により電子的に全ての関係者に公開される。

## 4. 原子力規制委員会による 許可申請書の審査プロセス

#### 4.1 申請前審査

NRCは、許可申請書の審査に先立ち、核廃棄物政策法1982修正法、10 CFR Part 63及びそれらに基づく連邦議会の指導により、DOEが実施したヤッカマウンテンのサイト特性評価（Site characterization）に関する報告等について申請前審査を実施しており、2000年より申請前協議（Pre-licensing consultation）を定期的に行っている。この協議は、NRCがDOEの報告に含まれる国民の健康と安全性に関連するKTI（Key Technical Issues：重要技術課題）を10カテゴリー・293項目に整

理してDOEに提出し、それらの適切な対策について双方の合意点を求める作業であり、2005年4月にほぼ終了した(NRC, 2005)。この申請前協議は、許可申請書の審査期間が限定されていること(後述)、技術的課題が極めて複雑であることなどから、必要な作業を前倒しして実施し、より慎重・厳正な審査を行うことを目的としている。

#### 4.2 許可申請書の審査

許可申請書の審査は、NRCによって作成されたヤッカマウンテン審査計画(NRC, 2003)に沿って進められる。第1図にヤッカマウンテン審査計画の構造を示す。許可申請書の審査は、連邦規制集10 CFR Part 2に定められた日程に則って実施され、審査期間は申請書受理より約3年間と定められている(第2図)。許可申請書をNRCが受理すると、関係団体等に公聴会参加の機会を告知するために官報(Federal Register)にその旨が掲載される。公聴会の開催はASLBの責任である。ASLBを構成する委員は、原則として、NRCまたはNRCが設置したASLB Panel(事前に承認され資格を持つ委員団、現在20名からなる)議長によってASLB Panelから指名された3名(1名は連邦の行政法審判官、2名は技術的専門家等)から構成される。最終処分場の建設を支持するまたはそれに反対する団体・個人が、法的に関係団体・関係者と認められるためには、請願書及び最終処分場建設に関連する法的または技術的な論争点をASLBに提出する必要がある。ASLBは、公聴会で発言を希望する団体であっても、それが関係団体と認められない場合は、その出席を制限することができる(この場合、関係団体とはDOE, NRC, ネバダ州, Nye郡, 影響を受けるインディアン部族などを指し、最終処分場と直接利害関係のない環境保護団体などは含まないと予想される)。

ASLBによる審査期間前半までの法的手続きの進行と同時に、NRCは許可申請書に対する技術審査を進め、それに対する問題点及び追加情報の要求などをDOEに対して行う。NRCは、許可申請書に追加情報の必要ないと判断した場合、許可申請書の内容に対する安全評価報告書を発行する。これが許可申請書受理後1年半(審査期間の中間)の予定である。ASLBは提議された論争点と規則類を検討し、その結論を安全評価報告書及び許可申請書と併せて公聴会に提出する。この際、DOE, NRC及びその契約スタッフは、公聴会に参加し、論争点について証言することになる。これらの全ての論争点のASLBによる審査の後、ASLBは建設認可の最初の決定をNRC理事(Commissioners)に上申する。この決定が、NRC理事または控訴裁判所によって覆されなければ、最終処分場の建設が開始される。以上のプロセスの概略を第3図に示す。

## 5. 許可申請書・操業許可証の審査の主な内容

### 5.1 閉鎖前安全解析の審査

閉鎖前安全解析の審査は、最終処分場建設時の安全性維持を目的としており、許可申請書に記載された、最終処分場の設計・構造、作業員等の被曝レベル、火災、自然災害、事故(処分場への航空機墜落を含む)、放射性廃棄物の搬出と代替貯蔵施設、永久閉鎖計画等に関する安全解析について審査する。

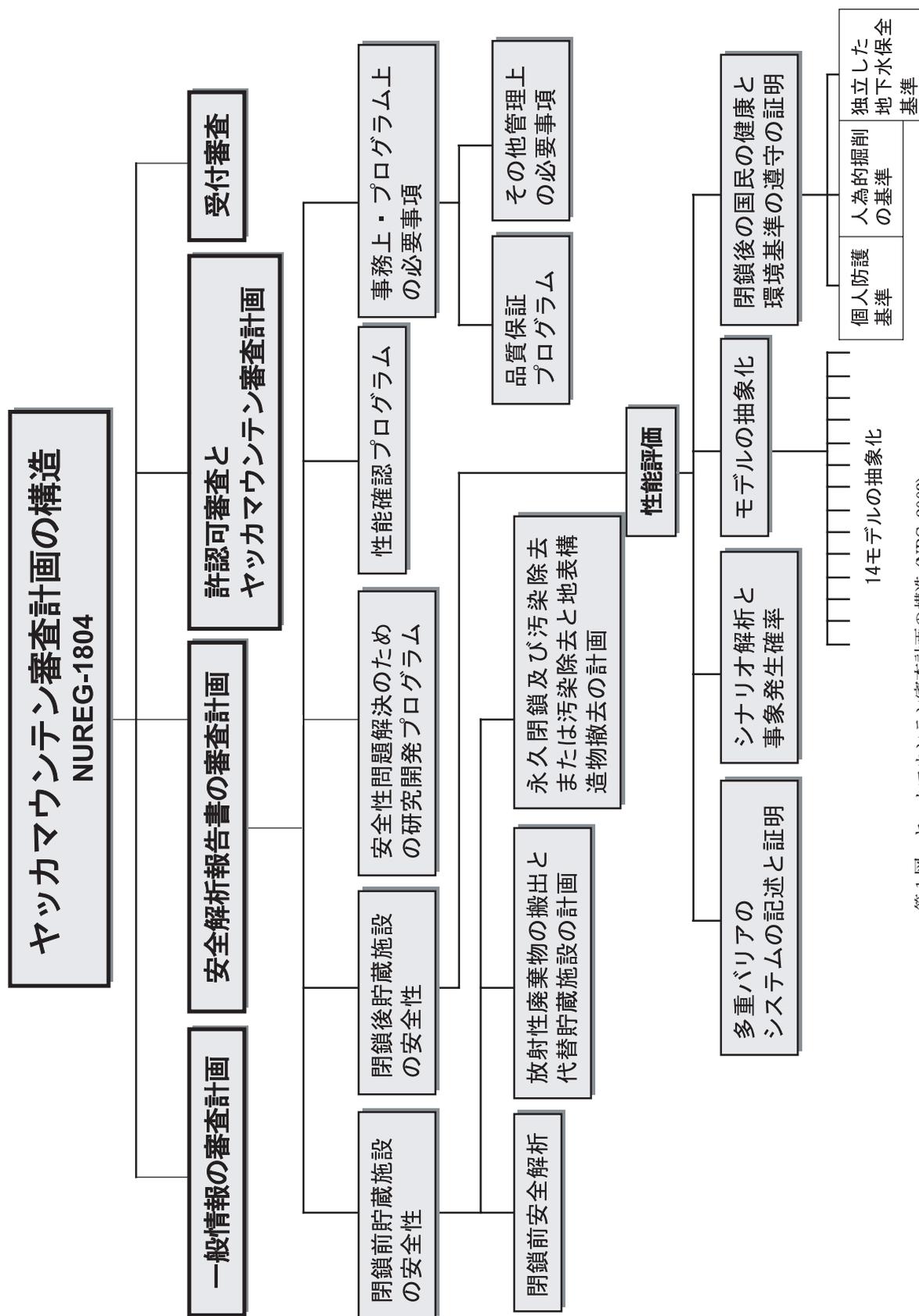
### 5.2 閉鎖後性能評価の審査

閉鎖後性能評価の審査では、許可申請書に記載された最終処分場の永久閉鎖後の性能評価の妥当性を安全性の観点から確認する。最終処分場は、永久閉鎖後1万年以上の超長期にわたり最終処分場及びその周辺で発生しうる様々な出来事のFEPs(Features, Events, Processes:特徴, 事象, プロセス)に対し、十分な安全性を確保する必要がある。NRCは、独立した調査研究・データを元に各事項に対するリスクの程度を予測し、DOEによる性能評価が妥当であるか否かを判断しなければならない。もし性能評価に妥当でない部分が含まれると判断された場合は、NRCはDOEに対し、追加情報の要求や許可申請書の修正などを求めることができる。この閉鎖後性能評価の審査が、一般に高レベル放射性廃棄物最終処分場の安全規制において最も困難かつ重要な作業であり、ヤッカマウンテン最終処分場の申請前審査においてもKTIの95%が閉鎖後性能評価に関する事項で占められている。性能評価の審査は、DOEによる性能評価と同様、最終処分場を構成する人工バリア・天然バリア、また発生しうる工学的事象、地質学的事象、生物圏への影響などを総合して確率的に考察するTPAまたはTSPA(Total-system Performance Assessment:全システム性能評価)という考え方で実施される(竹野, 2004参照)。

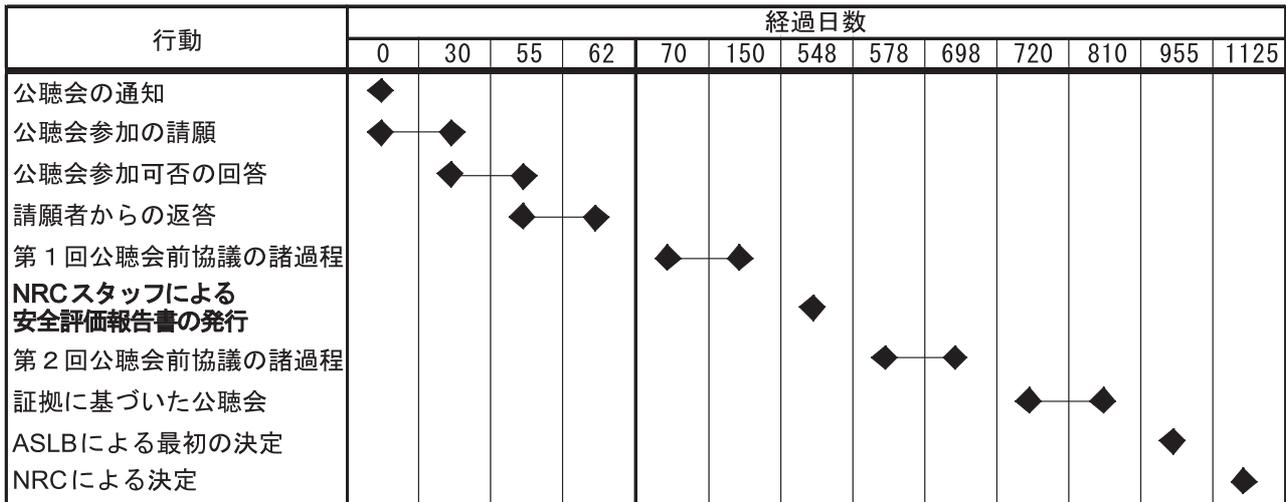
### 5.3 地層処分事業全体に対する審査

#### 5.3.1 性能確認プログラムの審査

性能確認プログラムは、最終処分場が国民の健康と安全性の保護に重要な所期の性能を保持することを確認するためにDOEが実施するモニタリング・試験・実験・調査・計測等に関するプログラムであり、サイト特性評価の開始から永久閉鎖の終了まで継続される。特に、建設認可・操業許可証が発行され、最終処分場の建設・放射性廃棄物の搬入が開始されると、実際に遭遇した岩盤の状態や定置作業の間に生じる状況の変化により、施設が設計時に意図したものと異なる状況・状態になる可能性がある。最終処分場が永久閉鎖後に所期の性能を保持するためには、状況・状態の変



第1図 ヤッカマウンテン審査計画の構造 (NRC, 2003)  
Fig. 1 Structure of the Yucca Mountain Review Plan (NRC, 2003).



第2図 高レベル放射性廃棄物地層貯蔵施設建設認可のための審査進行日程 (Leslie, 2004). 公聴会の通知を0日として、主な活動の日程と日数を、10 CFR Part 2に基づいて作成したもの。

Fig. 2 Some of the actions required in the schedule and their dates of occurrence relative to the day since the notice of hearing (Day 0) (Leslie, 2004).

化に応じて永久閉鎖前に適切にその設計を変更しなければならない。また、廃棄物容器や水滴よけ等と岩盤の物理的・化学的相互作用、試錐孔や立坑の遮蔽剤の性能などは、建設中または建設後に施設内に実際に設置した状態で試験を行い性能を確認する必要がある。DOEは、それらを性能確認プログラムとして実施しなければならない。NRCは、性能確認プログラムの妥当性を審査するとともに、DOEが性能確認プログラムの結果に基づいてNRCに申請した許可申請書または操業許可証の修正を、独立した調査・研究結果やデータに基づいて審査する。

### 5.3.2 品質保証プログラムの審査

最終処分場が所期の性能を保持するためには、取得された各種データや最終処分場を構成する物品・機器・システム等が施設の設計・施工に十分な品質・機能を持つことが前提であり、DOEはそれらを一定の基準で保証する品質保証プログラムを実施しなければならない。品質保証プログラムには、サイト特性評価、最終処分場の建設、廃棄物の搬入・ positioning、永久閉鎖等に関わる全ての工程及び構成物・物品・システムの品質・機能の管理・検査が含まれるのみならず、書類・図面・物品・機器・事業の管理、会計検査等の事務的な作業も含まれる。これらはDOEにより許可申請書に含められ、NRCはその妥当性を審査する。

### 5.3.3 その他の審査

最終処分場建設に関わる人員の訓練・検定、緊急計画、専門家による討議、記録の保持、土地の使用制限なども許可申請書に記載され、NRCの審査の対象となる。

## 6. リスク評価

### 6.1 NRC規制プログラムにおけるリスクの扱い

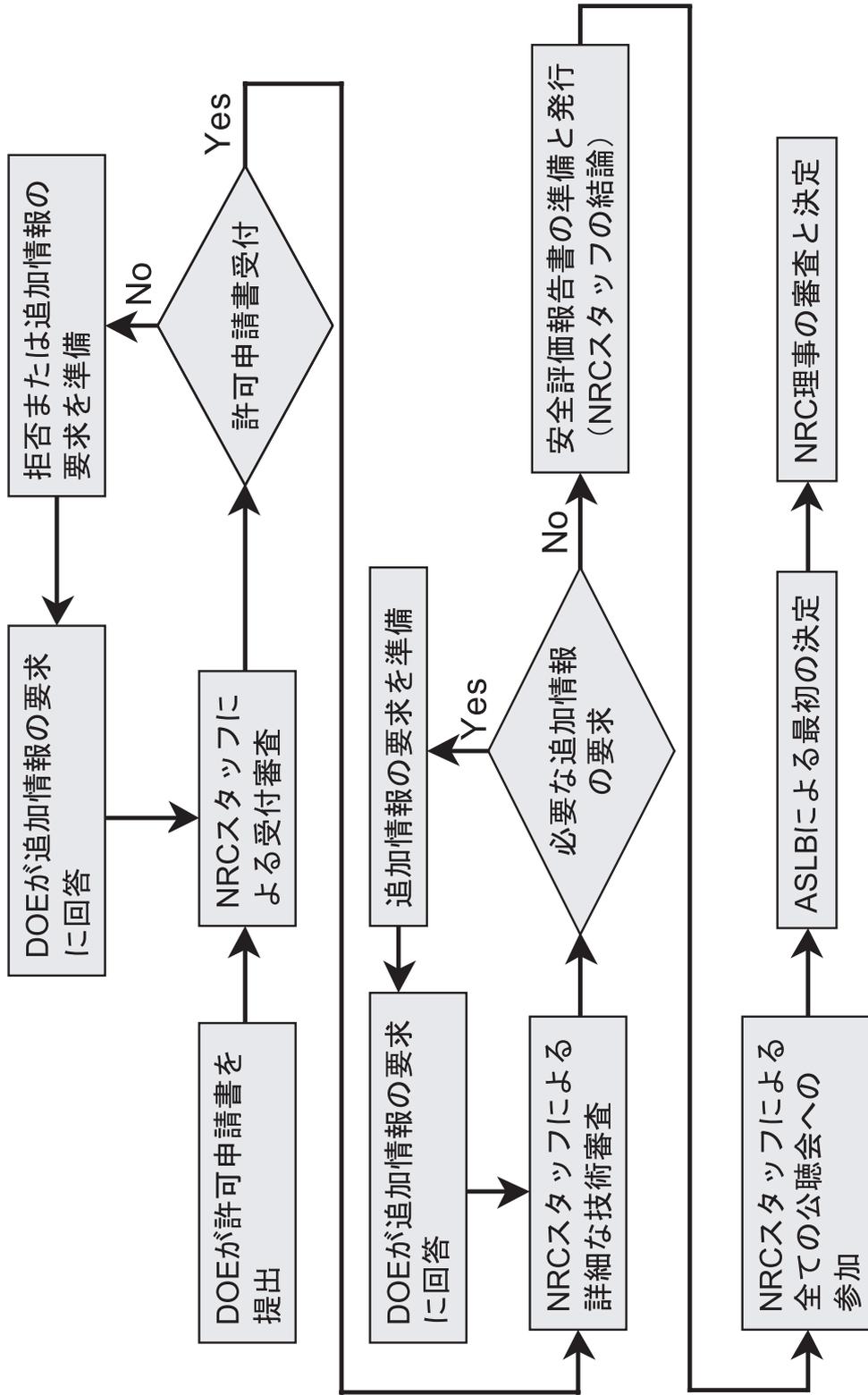
最終処分場永久閉鎖後の性能評価を審査する際、NRCは各事象別に予察リスク (Risk insight) を適正に見積らなければならない。予察リスクとは、性能評価の定量的な解析によって得られる結果・所見であり、各FEPsの廃棄物隔離性能に対する影響 (=国民の健康と安全に対する影響) の程度を意味する。予察リスクを見積る際には、各FEPsが以下の3つのプロセスに与える影響を具体的に検討する。

- (1) 廃棄物容器とそれを固定している材料及び水滴よけの変化 (劣化や破損等)
- (2) 放射性核種のリーク
- (3) 放射性核種の地質媒体を通じた生物圏への移動

NRCは、規制上の意志決定にあたり、予察リスクのみに基づくのではなく、設計・建設・操業などの過程で生じる不確定要素 (故障、事故、人為的過誤等) を予察リスクと同等に扱う、Risk-informed and Performance-Based Regulationと呼ばれる評価方法を用いることにしている (NRC, 1999)。この評価方法は、決定論的安全評価 (事故は必ず起こるものと仮定して安全評価をすること) と確率論的安全評価 (各事象の発生確率と発生時の影響を数学的に処理して安全評価をすること) の中間に位置するもので、不必要に厳しい規制を回避するとともに、規制基準が不十分な領域に追加的な措置を幅広く講ずることができるようにすることを目的としている。

### 6.2 申請前審査におけるリスク評価

NRCは申請前審査において、最終処分場から地質環



第3図 許認可のプロセス図 (NRC, 2003)

Fig. 3 Licensing process (NRC, 2003).

第1表 廃棄物隔離特性の有効性 (NRC, 2004)

Table 1 Representation of effectiveness of some attributes of waste isolation (NRC, 2004).

放射性核種	廃棄物隔離特性						
	リークの開始	放射性核種のリーク率			地圏への輸送		
	廃棄物容器	廃棄物外形	溶解度の限度	限定された水への溶解度	不飽和帯	飽和帯(凝灰岩)	飽和帯(沖積層)
アメリシウム-241	DDD				DDD	DDD	DDD
プルトニウム-240	DDD			L	DDD	DD	DDD
プルトニウム-239	DDD			L	DDD	DD	DDD
アメリシウム-243	DDD			L	DDD	DD	DDD
テクネチウム-99	DDD	LL			D	D	D
ウラン-234	DDD			L	DDD	D	DDD
ニッケル-59	DDD	LLL	L	LL	DDD	D	DDD
炭素-14	DDD	LLL			D	D	D
ネプツニウム-237	DDD			L	DDD	D	DDD
ニオブ-94	DDD	LL	LLL	LLL	D	DD	DDD
セシウム-135	DDD	LL			DDD	DDD	DDD
セレンニウム-79	DDD	LL			DD	D	DD
ウラン-238	DDD	L	LLL	LLL	DDD	D	DDD
キュリウム-246	DDD	L			D	DD	DDD
ヨウ素-129	DDD	LL			D	D	D
トリウム-230	DDD	LL	L	LL	DDD	DD	DDD
塩素-36	DDD	LL			DDD	DDD	DDD
ラジウム-226	DDD	LL		L	DDD	DD	DDD
鉛-210	DDD	LL	L	LL	DDD	DD	DDD

Dは、遅延時間が少なくとも10,000年(DDD), 1,000年(DD), 100年(D)であることを表す。

Lは、漏出する線量の限度が0.15 mSv (15 mrem)より10,000倍少ない(LLL), 1,000倍少ない(LL), 100倍少ない(L)ことを表す。

境中に放出される各放射性核種の挙動を独自に評価し、それらの予察リスクを見積っている(第1・2表)これらの表によると、1000年後において有害な影響を与えうる放射性核種は極めて限定されている。その主体であるアメリシウム、プルトニウム、ネプツニウムは化学的に地圏(岩石・鉱物の表面)に吸着・固定され、少なくとも1万年程度の期間では生物圏には到達しないと予想される。一方、テクネチウムとヨウ素は、地圏にはほとんど固定されないため生物圏にまで到達する可能性があるが、その量は極めて少ない(第2表)。したがって、各放射性核種が平均的な挙動をする限り、最終処分場の総合的なリスクは低いと判断される

(NRC, 2004)。しかし、第1・2表では扱われていない技術的な問題、事象の不確かさ、空気による放射性核種の輸送などリスクを上昇させうる不確定要因が他にも数多く存在するため、最終処分場の安全評価の検討はまだ不十分である。そこでNRCは、Risk-informed and Performance-Based Regulationの考え方に基づき、FEPsを工学的・地圏・生物圏各サブシステムの下、14種類に分類し、より詳細な評価を実施している(第4図)。第3表は、これら14種類のFEPs中の細目の廃棄物隔離性能に対する重要性を、高・中・低3段階に評価したものである。これら14種類のFEPsは現在も検討が続けられている。また、この分類はヤッカマウ

第2表 1000年後の放射能に基づく地下水にリークすると予測される放射性核種の種類と割合及び重み付けした割合 (NRC, 2004)

Table 2 Inventory (based on the activity present at 1000 years) and weighted inventory (based on the activity present at 1000 years weighted by the dose factor) of radionuclides evaluated in groundwater releases (NRC, 2004).

放射性核種	半減期 (年)	1000年後の 全体の割合 %	地下水線量 変換ファクター mrem/yr/dCi/l	1000年後の 重み付けした 割合 %
アメリカシウム-241	430	54	4.9	56
プルトニウム-240	6,500	25	4.7	25
プルトニウム-239	24,000	18	4.7	18
アメリカシウム-243	7,400	1.2	4.9	1.2
テクネチウム-99	210,000	0.73	0.0022	0.00033
ウラン-234	240,000	0.13	0.38	0.010
ニッケル-59	76,000	0.12	0.00032	0.0000083
炭素-14	5,700	0.065	0.0035	0.000048
ネプツニウム-237	2,100,000	0.064	6.0	0.080
ニオブ-94	20,000	0.042	0.0096	0.000052
セシウム-135	2,300,000	0.027	0.012	0.000065
セレンウム-79	65,000	0.023	0.013	0.000063
ウラン-238	4,500,000,000	0.016	0.35	0.0012
キュリウム-246	4,700	0.0032	4.9	0.0033
ヨウ素-129	16,000,000	0.0018	0.43	0.00016
トリウム-230	77,000	0.0011	0.74	0.00017
塩素-36	300,000	0.00058	0.0061	0.00000075
ラジウム-226	1,600	0.00019	1.8	0.000074
鉛-210	22	0.00019	7.3	0.00030

ンテン審査計画 (NRC, 2003) にも使用されているため、そのまま許可申請書の審査にも用いられることになる。最終処分場の安全性は、多重バリアを用いた縦深防御 (Defense-in-depth) により確保することから、これらの表中で、あるFEPsについて、ほとんど機能しないバリアシステムがあったとしても、それが直ちに国民の健康と安全に被害を及ぼす可能性が高いことを意味するのではない。NRCは、あくまでTPAの観点から最終処分場の安全性を総合的に判断し、許認可に対する意志決定を行う。

### 6.3 リスク評価の限界

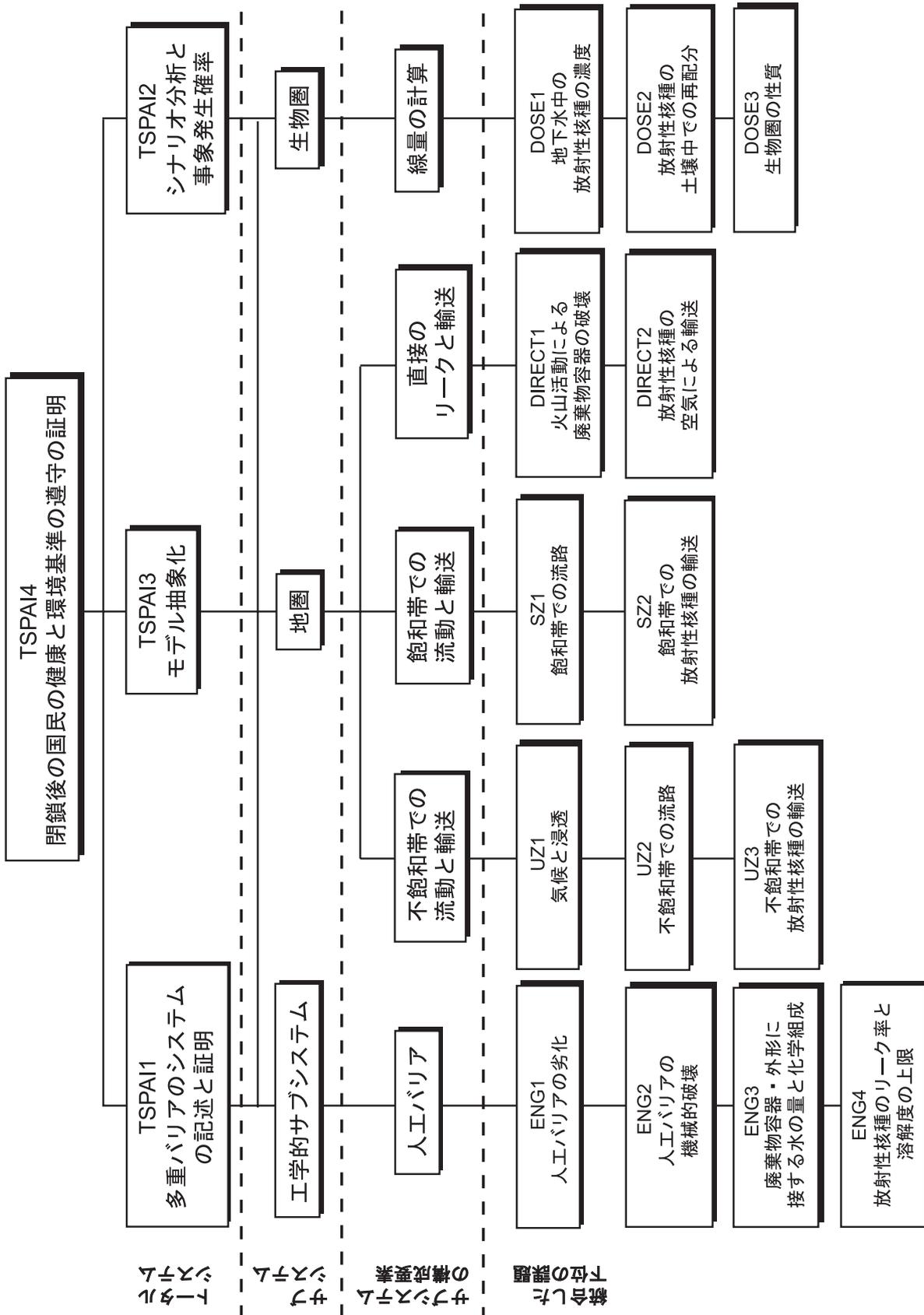
10 CFR Part 63 では、Risk-informed and Performance-Based Regulationの考え方に基づき、最終処分場の永久閉鎖後1万年以内に1万分の1以下の確率

(すなわち、年間1億分の1以下の確率) で発生すると見積もられるFEPsは考慮しないことと規定している\*。また、たとえそれ以上の発生確率が見積もられるFEPsであっても、それらが性能評価の結果に大きな影響を与えない場合には評価の対象から外すこととしている。放射線被曝や地下水保全の基準等は、ヤッカマウンテン地区南側に隣接するアマルゴサバレー地域に住む標準的な生活様式を持つ人間で有害な影響を最も大きく受ける仮想的人物を対象に規定されている。

### 7. おわりに

最終処分場の性能評価及びそこで想定されるFEPsは、各サイト固有のものである。日本の地質学的・水文学的条件、気候及び現在計画されている放射性廃棄

\* 1万年という期間をヤッカマウンテンサイトの環境放射線防護基準 (40 CFR Part 197) に用いることは無効という控訴裁判所判決が2004年7月に下されたことから、10 CFR Part 63においても、この期間が今後見直される可能性がある。



第4図 性能評価の審査に関する各要素 (NRC, 2005)  
Fig. 4 Components of performance assessment review (NRC, 2005).

第3表 予察リスクランキングの概要, 廃棄物隔離に対する重要性 (NRC, 2004)

Table 3 Summary of risk insights rankings: Significance to waste isolation (NRC, 2004).

ENG1	<b>人工バリアの劣化</b> 不動態の持続性 廃棄物容器の破損様式 水滴よけの保全性 応力腐食亀裂 廃棄物容器の初生欠陥	高 中 中 中 低
ENG2	<b>人工バリアの機械的破壊</b> 人工バリア上への落下岩石の堆積の影響 人工バリア上への岩石落下による力学的影響 人工バリアへの地震動による負荷の影響 人工バリアへの断層活動による影響	中 低 中 低
ENG3	<b>人工バリア及び廃棄物外形に接する水の量と化学組成</b> リーク水の化学組成	高
ENG4	<b>放射性核種のリーク率と溶解度の限界</b> 廃棄物外形の劣化率 被覆金属の劣化 溶解度の限界 廃棄物容器からのリーク状態 廃棄物容器上のコロイドの影響 インパート部の流れと輸送 臨界	中 中 中 低 中 低 低
UZ1	<b>気候と浸透</b> 現在の正味浸透率 長期的気候変動	中 中
UZ2	<b>不飽和帯での流路</b> リーク 不飽和帯の水文学的性質 一時的な浸透	高 中 低
UZ3	<b>不飽和帯での放射性核種の輸送</b> Calico Hills非溶結ガラス質凝灰岩層での遅延効果 不飽和帯での基質内拡散 不飽和帯でのコロイドによる輸送の影響	中 中 中
SZ1	<b>飽和帯での流路</b> 飽和した沖積層での輸送距離	中
SZ2	<b>飽和帯での放射性核種の輸送</b> 飽和した沖積層による遅延効果 飽和帯での基質内拡散 飽和帯でのコロイドによる輸送の影響	高 中 中
DIRECT1	<b>廃棄物容器の火山活動による破壊</b> 火成活動の発生確率 噴火によって影響を受ける廃棄物容器の数 マグマの貫入によって損傷をうける廃棄物容器の数	高 高 中
DIRECT2	<b>放射性核種の空気による輸送</b> 噴火によって形成される火山灰の体積 火山灰堆積物の再移動 再浮遊した火山灰の吸入 噴火時の風のベクトル	中 中 高 中
DOSE1	<b>地下水中の放射性核種の濃度</b> 井戸汲み上げモデル	低
DOSE2	<b>土壌中での放射性核種の再分配</b> 土壌中での放射性核種の再分配	低
DOSE3	<b>生物圏の性質</b> 生物圏の性質	低

物の処分方式は、一般にヤッカマウンテン最終処分場のそれらとは大きく異なるため、ここで解説した安全規制の内容をそのまま日本に建設される最終処分場に持ち込むことはできない。しかし、今日まで数多くの検討を重ねて構築されてきた、米国における最終処分場の安全規制の考え方やプロセスは、日本の地層処分事業に対しても大いに参考になると思われる。

ヤッカマウンテン最終処分場の安全規制に関して、本文では触れなかった内容がまだ多数あることから、別報(高木, 2005)にて10 CFR Part 63の邦訳を参考用に報告した。なお、本文中での米国の組織名・用語類の邦訳は、一般的に良く知られているものを除いては、著者の判断によるものである。

**謝辞:** 本解説を作成するにあたり、米国放射性廃棄物規制解析センター Wesley Patrick 所長, Gary Walter 博士, John Stamatakos 博士, 深部地質環境研究センター 月村勝宏博士, 竹野直人博士には有益な助言をいただいた。ここに感謝申し上げます。

## 文 献

- 原子力環境整備促進・資金管理センター (2003) 諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について。経済産業省・資源エネルギー庁監修, 176p.
- Leslie, B.W. (2004) Conducting the review of a license application for a repository at Yucca Mountain, Nevada. *Geological Society of America, Annual meeting abstracts*, No. 122-127.
- 高木哲一 (2005) アメリカ合衆国規制法「ネバダ州ヤッカマウンテン地層貯蔵施設への高レベル放射性廃棄物の処分 (10 CFR Part 63)」の邦訳。地質調査総合センター研究資料集, No. 417, 51p. URL: <http://www.gsj.jp/GDB/openfile/files/no0417/0417index.html>
- 竹野直人 (2004) 天然バリアの安全評価への地球科学の寄与。地質ニュース, 602号, p. 18-24.
- 月村勝宏 (2004) CNWRA (米国の放射性廃棄物処分に関する規制側研究機関) の紹介。地質ニュース, 602号, p. 54-56.
- U. S. Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management (2001) Yucca mountain science and engineering report. Technical information supporting site recommendation consideration. *DOE/RW-0539*, 906p.
- U. S. Department of Energy, Office of Civilian Radio-

active Waste Management (2002) Final environmental impact statement for a geologic repository for the disposal of spent nuclear fuel and high-level radioactive waste at Yucca Mountain, Nye County, Nevada. *DOE/EIS-0250*.

- U. S. Nuclear Regulatory Commission (1999) White paper on risk-informed, performance-based regulation, SECY-98-144.
- U. S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguard (2003) Yucca mountain review plan final report. *NUREG-1804*, Revision 2, 484p.
- U. S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguard (2004) Risk insights baseline report. 147p.
- U. S. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Material Safety and Safeguard (2005) Integrated issue resolution status report. *NUREG-1762*, Vol. 1, Rev. 1, 762p.

## 参考にした法律

- Nuclear waste policy act of 1982, as amended (December 22, 1987).
- 10 CFR Part 63, Disposal of high-level radioactive wastes in a geologic repository at Yucca mountain, Nevada (March 12, 2004).
- 10 CFR Part 2, Rules of practice for domestic licensing proceeding and issuance of order (November 26, 2004).
- 40 CFR Part 197, Public health and environmental radiation protection standards for Yucca Mountain, NV; Final rule (June 8, 2001).
- 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律。平成12年6月7日, 法律第117号。

## 参考にしたウェブサイト

- U. S. Nuclear Regulatory Commission: <http://www.nrc.gov>
- U. S. Department of Energy, Office of Civilian Radioactive Waste Management: <http://www.ocrwm.doe.gov>
- 原子力百科事典 ATOMICA: <http://sta-atm.jst.go.jp/atomica/>
- 原子力環境整備促進・資金管理センター: <http://www2.rwmc.or.jp/>

(受付: 2005年1月4日; 受理: 2005年5月19日)