

資料

高レベル放射性廃棄物の地層処分
研究開発等の今後の進め方について

- 鈴木主査コメント版 1996.11.20 -

「参考」を別冊「資料」としたもの

目 次

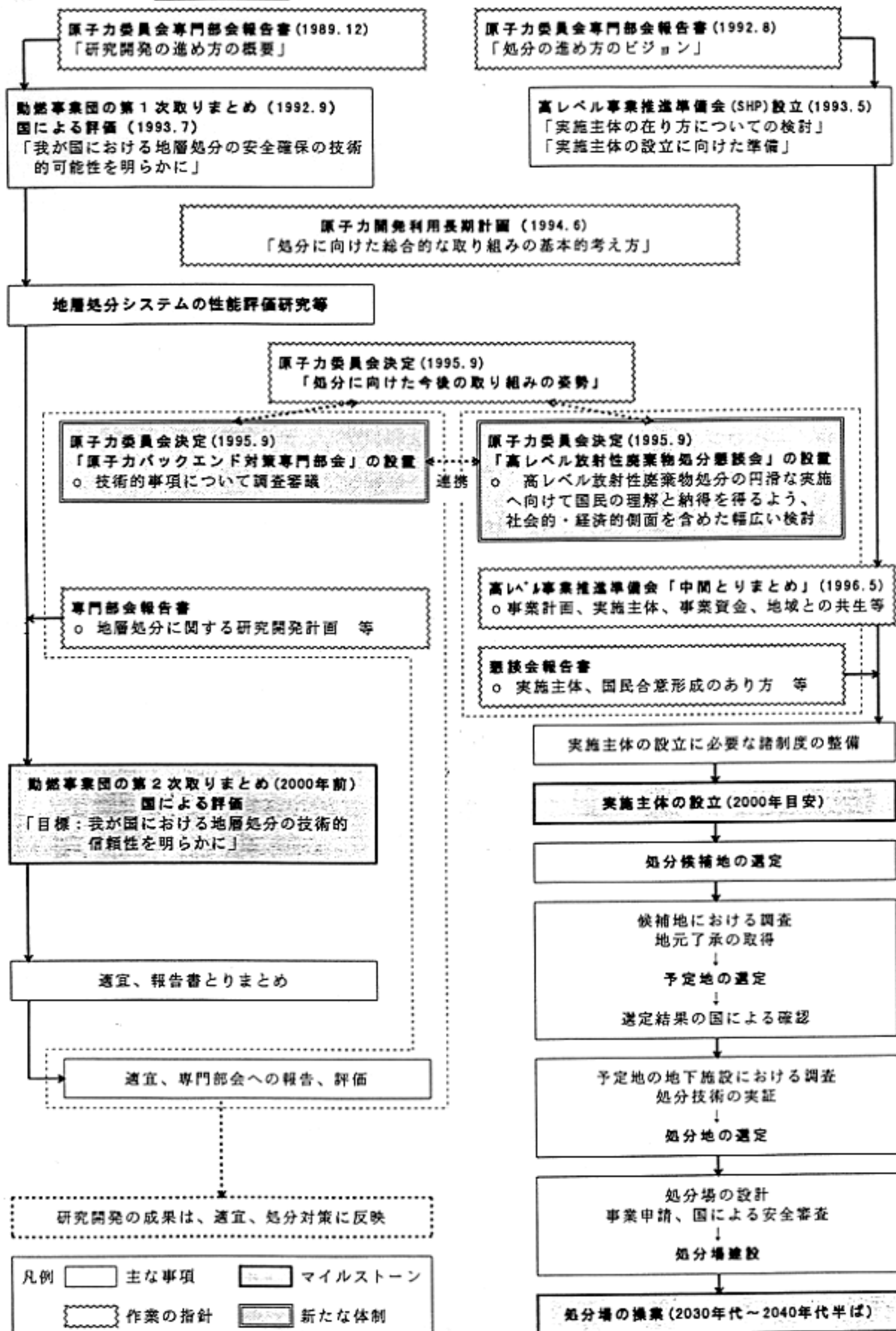
参考資料

- 参考 1 高レベル放射性廃棄物の処分に向けた流れ
- 参考 2 研究開発と処分事業、安全規制の展開
- 参考 3 処分場の概念図
- 参考 4 多重バリアシステムの概念図
- 参考 5 地層処分システムの安全評価の流れ
- 参考 6 地層処分に対する安全基準に関する各国の例
- 参考 7 処分場の管理に関する各国の考え方の例
- 参考 8 わが国の天然現象についての考察例
- 参考 9 諸外国における地層処分システムの安全評価に関する考え方
- 参考 10 地層処分研究開発及び深部地質環境の科学的研究の構成
- 参考 11 地層処分研究開発及び深部地質環境の科学的研究の推移（概要）
- 参考 12 地層処分研究開発の推移
- 参考 13 深部地質環境の科学的研究の推移
- 参考 14 第 2 次取りまとめとそれ以降の地層処分研究開発
- 参考 15 第 2 次取りまとめとそれ以降の深部地質環境の科学的研究
- 参考 16 高レベル放射性廃棄物に関わる海外の技術的動向

用語解説

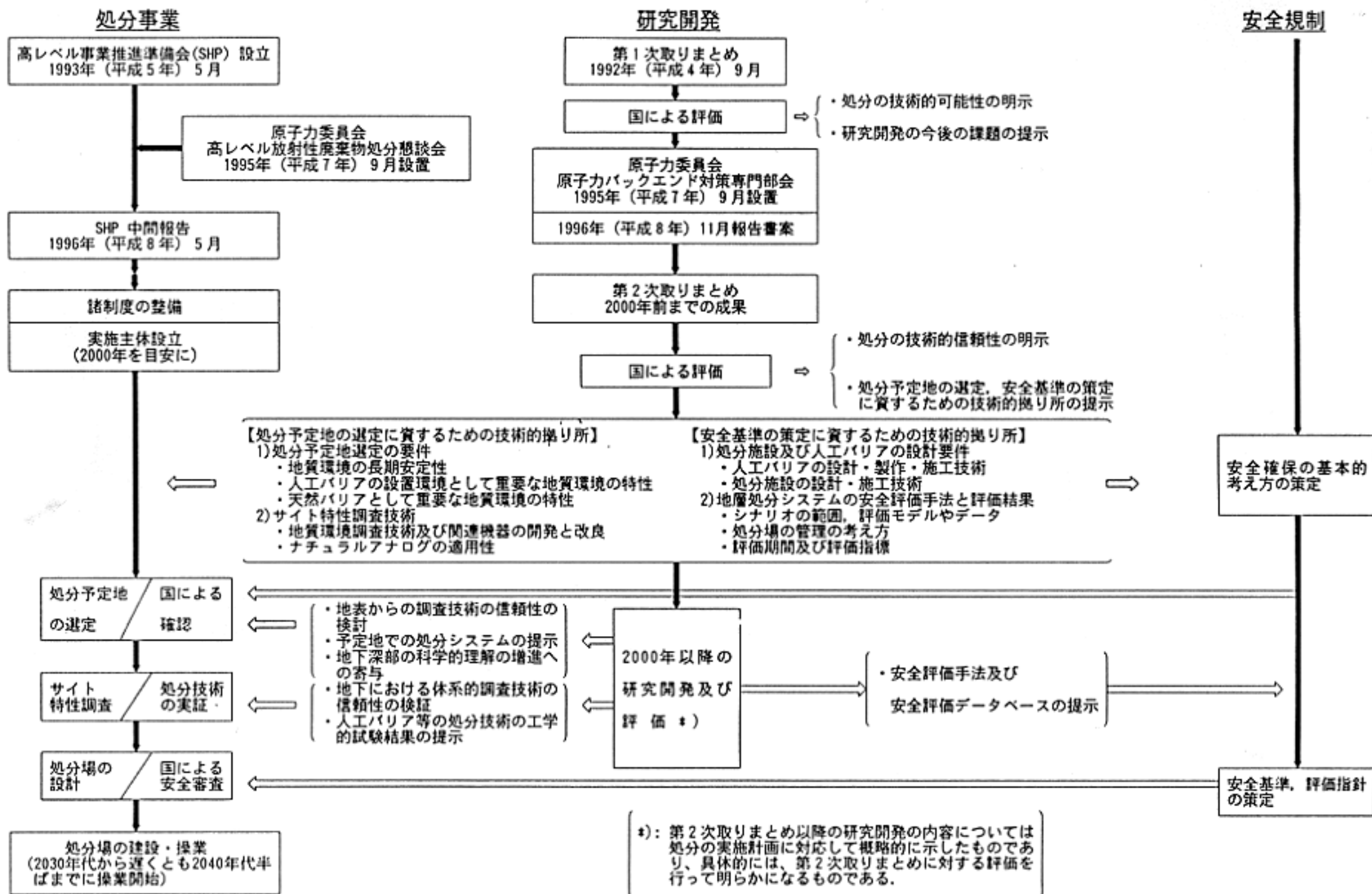
研究開発

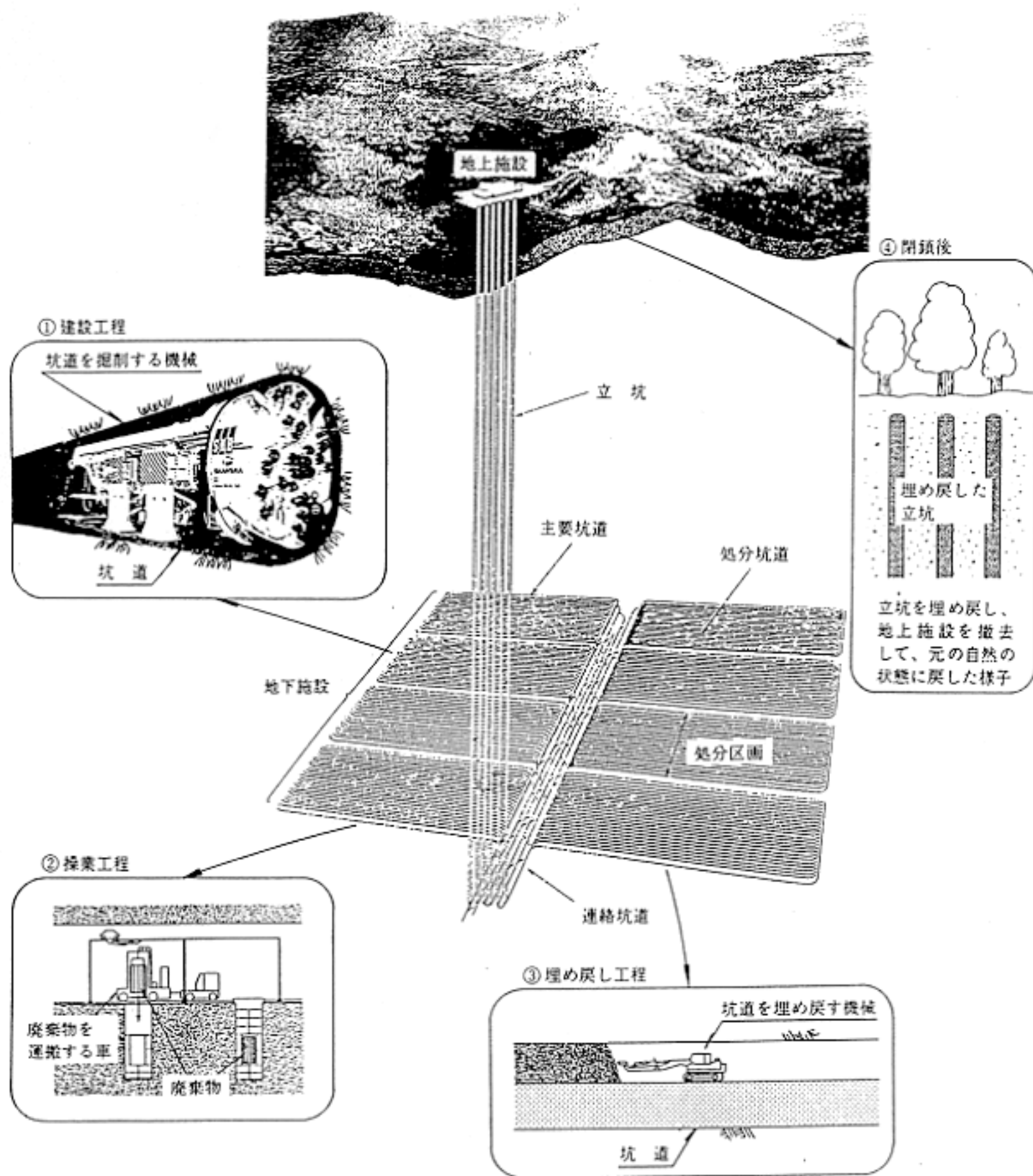
処分対策



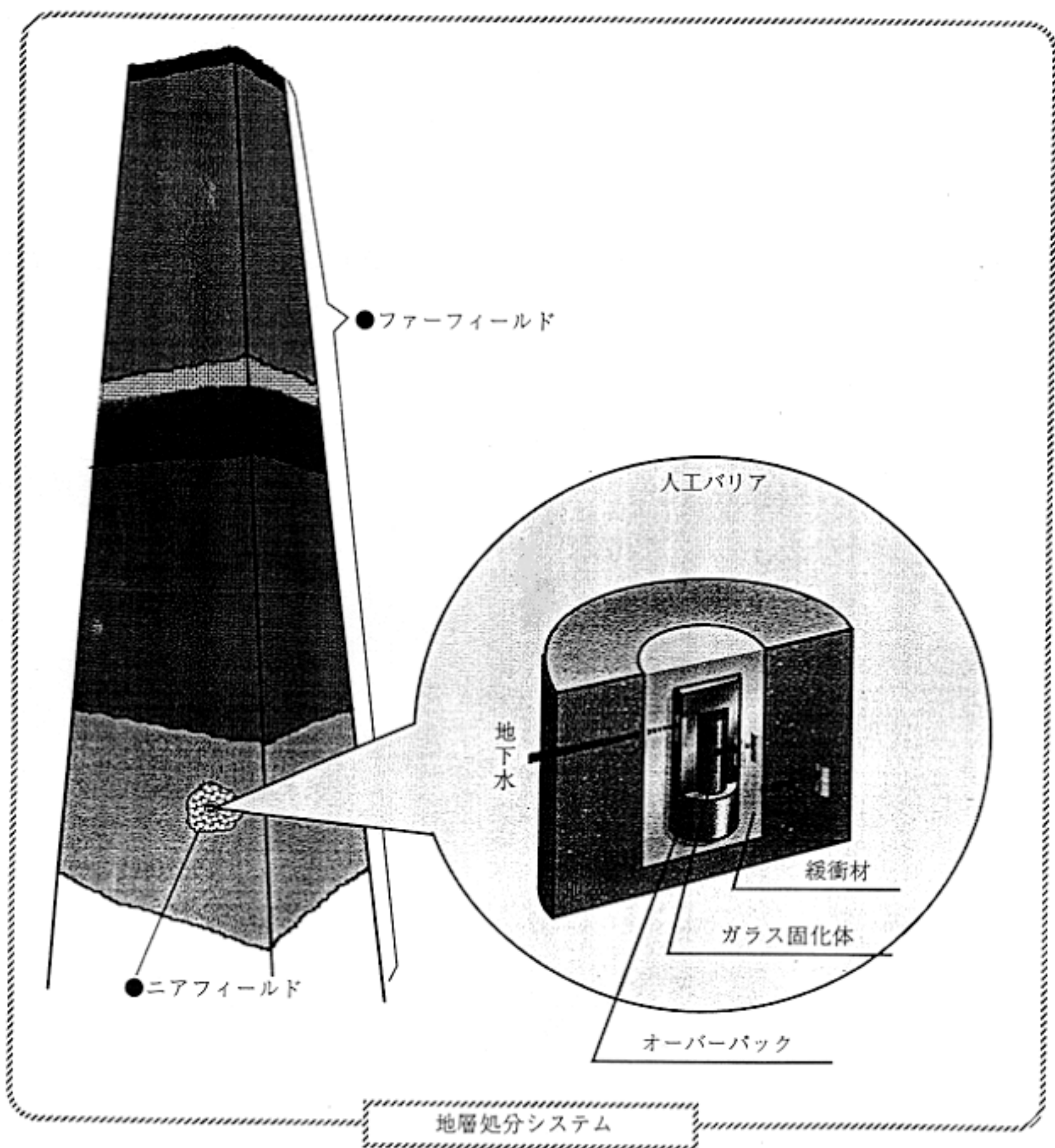
参考 2

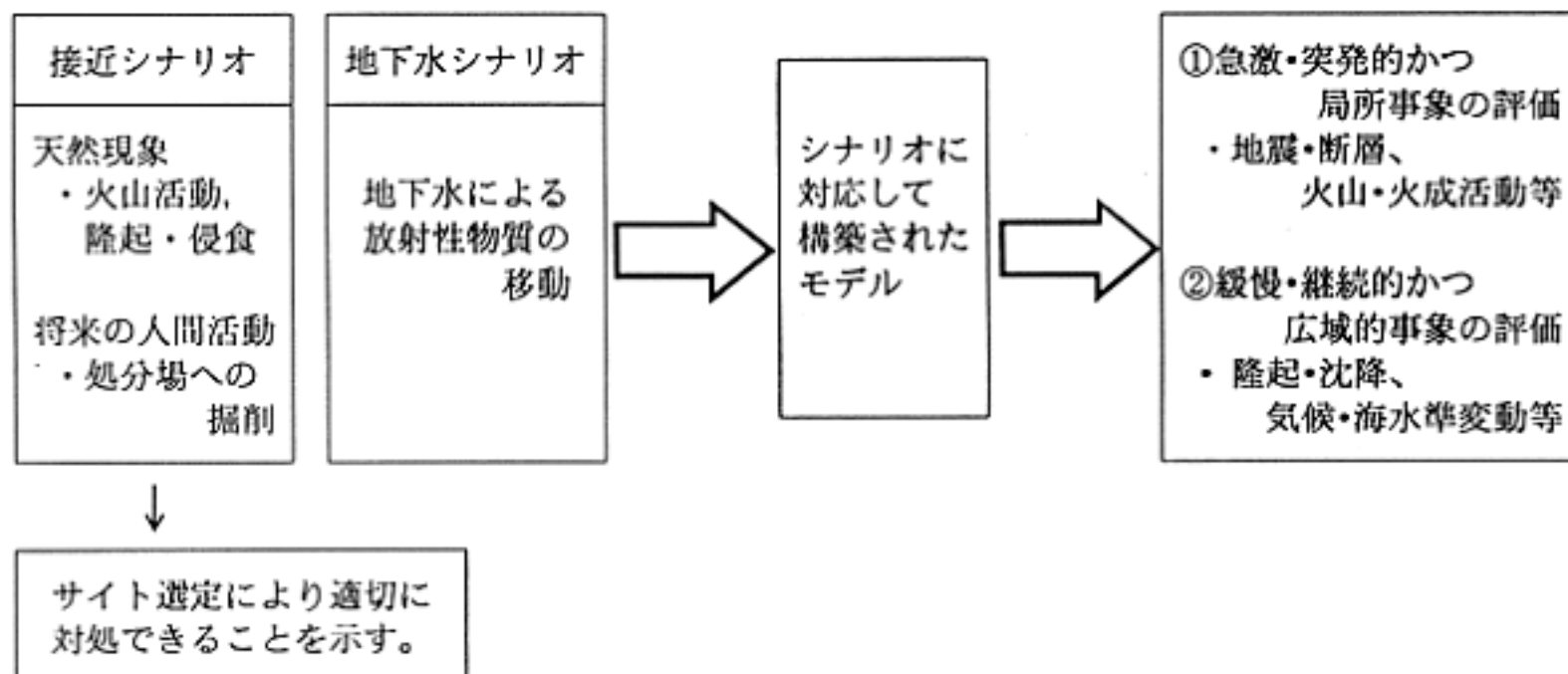
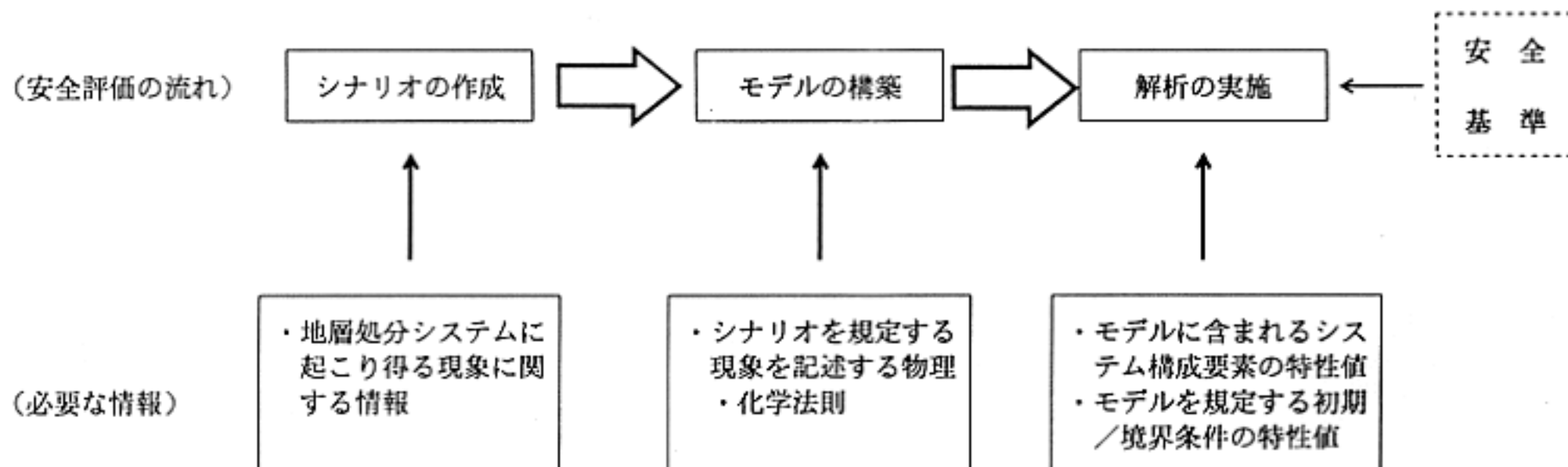
研究開発と処分事業、安全規制の展開

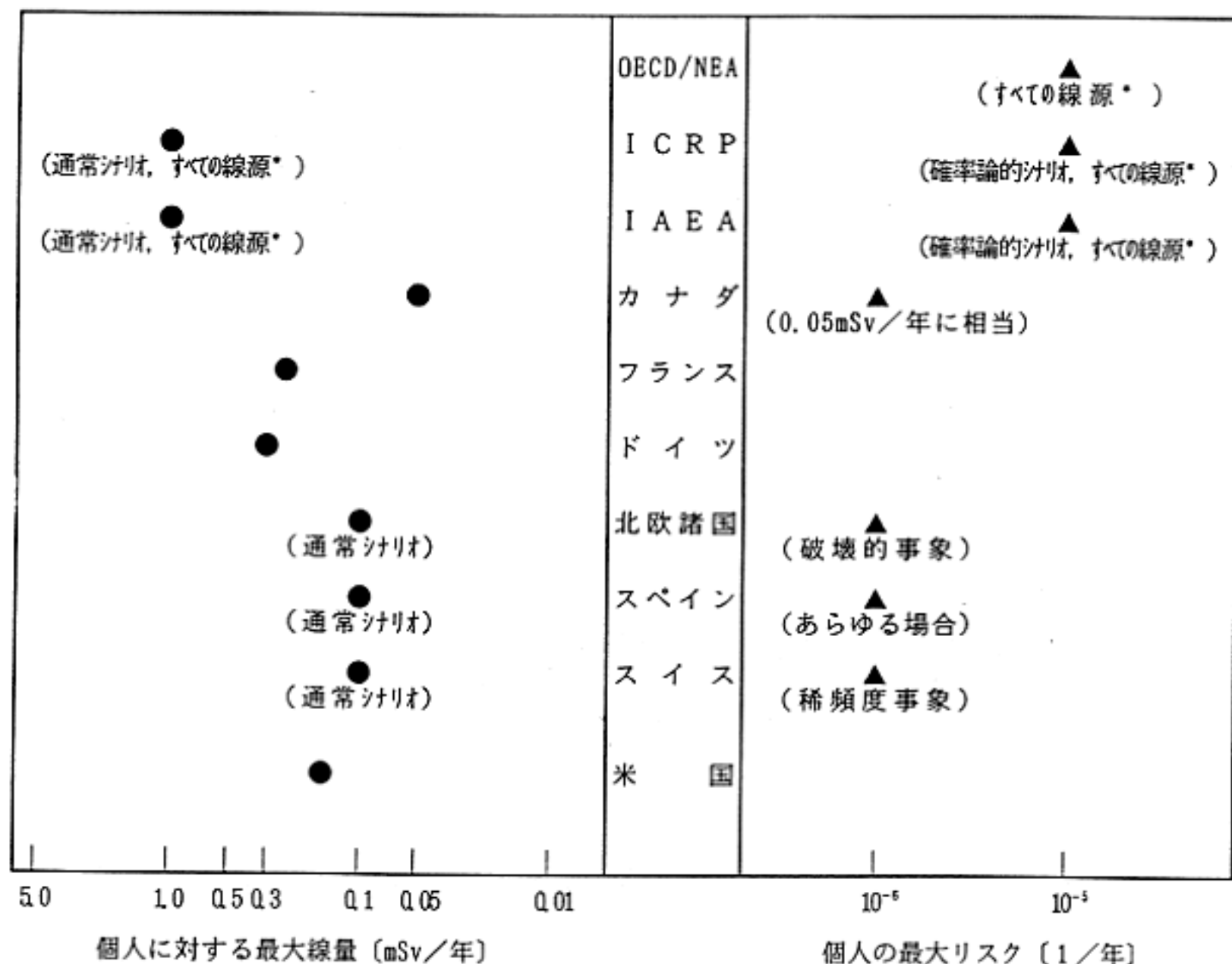




高レベル放射性廃棄物を、長期間にわたり生物圏から隔離し、放射性物質の移動を抑えることにより、処分された放射性廃棄物による影響が将来にわたって人間とその環境に及ばないようにするための多層の防護系。工学技術により設けられる人工バリアと天然の地層である天然バリアにより構成される。







* : 「すべての線源」とは、高レベル放射性廃棄物以外の線源（他の原子力施設等）となり得るすべてのものが対象。

処分場の管理に関する各国の考え方の例

1. 一般に処分場の閉鎖後の管理の手法については、能動的管理（人間による処分場の管理・保守、環境放射線のモニタリングなど）と受動的管理（フェンス、マーカー、記録の保管など）とが考えられる[1]。なお、IAEAによれば、地層処分システムの長期的な安全性は、制度的管理に依存しないことを基本としているが、下記のように各国ともある程度の管理を検討している[2]。
2. 処分場の埋め戻し工程における諸外国の方針の例として、米国では、処分場の操業終了後においても再取り出し可能な期間を設け、一定期間安全性を確認した上で閉鎖する考え方が示されている[3]。また、能動的管理としては処分場へのアクセスの制限、補修作業の実施、放出物の除去などが、受動的管理としては永久的マーカー、記録、公文書他の情報を保存するなどの方法が考えられている[4]。
3. 処分場の閉鎖後の工程における諸外国の方針の例として、フランスでは初期の500年間、処分の記録を保存し、この間、人間が処分場に接近する可能性を非常に下げることとしている[5]。

参考文献

- [1] OECD/NEA (1984): Long-Term Management of Radioactive Waste; Legal, Administrative and Financial Aspects, OECD/NEA, Paris, France.
- [2] IAEA (1989): Safety Principles and Technical Criteria for the Underground Disposal of High Level Radioactive Wastes, IAEA Safety Series No. 99.
- [3] NRC (1983): Disposal of High-Level Radioactive Wastes in Geologic Repositories, 10 CFR Part 60.
- [4] EPA(1993): Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level, and Transuranic Radioactive Wastes, Final Rule, 40 CFR Part 191.
- [5] DSIN(1991): Statement of Objectives to be Applied to the Study of Radioactive Waste Disposal in Deep Geological Formations to Ensure Safety After the Operating Period of the Repository, Fundamental Safety Rule - Rule No. III.2. f. Ministry of Industry and Trade, Nuclear Installations Safety Directorate.

わが国の天然現象についての考察例

1. 地震・断層

- ・わが国における大地震の発生は、その一回一回については発生時期、場所、規模にばらつきがあり、その正確な予測は困難であるが、地質学的な時間スケールで見れば概ね一定の周期性をもって同じ活断層で同じような地震が繰り返し発生している。
- ・わが国の代表的な活断層の活動履歴に関する研究[1]によれば、過去百万年程度にわたっての累積速度は概ね一定している。このことは、活断層がほぼ周期的に動いて（その際に地震が発生する）同程度のくい違いを生じる現象が繰り返されてきたことを意味している。

2. 火山・火成活動

- ・わが国における火山活動は、過去一千万年以上にわたって、概ね同じ地域（火山フロントの西側）で起こっている[2]。
- ・東北地方を対象とした事例研究によれば、第四紀（約 170 万年前～現在）の火山活動は、いくつかの地域に集中しており、それらの地域における活動は数十万年以上にわたって継続していることが確認されつつある。

3. 隆起・沈降・侵食

- ・地形・地質学的な手法により推定される過去百万年程度の隆起・沈降の傾向（地域性）と測地学的な手法により把握される過去百年程度の隆起・沈降の傾向が概ね一致している[3, 4]。このことは、過去百万年程度にわたって、わが国における隆起・沈降の傾向が概ね一定であることを意味している。
- ・ダム の 堆 砂 量 から 推 定 さ れ る 侵 食 速 度 と そ の 地 域 の 隆 起 速 度 と の 間 に 相 関 関 係 が 認 め ら れ る [5]。このことは、侵食速度がその地域の地形（特に標高）に大きく規制されていることを意味している。したがって、隆起速度が把握できれば、将来における侵食速度の推定も可能である。

4. 気候・海水準変動

- ・地球規模での気候・海水準変動は、過去70万年にわたって、約十万年周期で繰り返されてきたことやそれに伴う海水準の変動幅は150m程度であることがわかっている[6]。

参考文献

- [1] Matsuda, T. (1976): Empirical rules on sense and rate of recent crustal movements, Jour. Geodetic Soc. Japan, Vol. 22, p. 252-263.
- [2] Tanaka, K. and Nozawa, T. (eds.) (1977): "Geology and Mineral Resources of Japan" Volume one Geology (3rd ed.), Geol. Surv. Japan., 430p.
- [3] 第四紀地殻変動研究グループ(1968): 第四紀地殻変動図, 第四紀研究, 7, pp. 200-211.
- [4] 檀原 毅(1971): 日本における最近70年間の総括的上下変動, 測地学会誌, 17, pp. 100-108.
- [5] Yoshikawa, T. (1974): Denudation and Tectonic Movement in Contemporary Japan, Bull. Dept. Geogr. Fac. Sci. Univ. Tokyo, No. 6, pp. 1-14.
- [6] Emiliani, C. (1978): The Cause of the Ice Ages, Earth and Planetary Science Letters, 37, pp. 349-352.

諸外国における地層処分システムの安全評価に関する考え方

1. 地層処分システムの安全評価の方法論

- ① 安全評価シナリオの分類について [1]
- ② 将来の人間活動について [2][3]

2. 地層処分システムの安全評価に関わる時間スケール

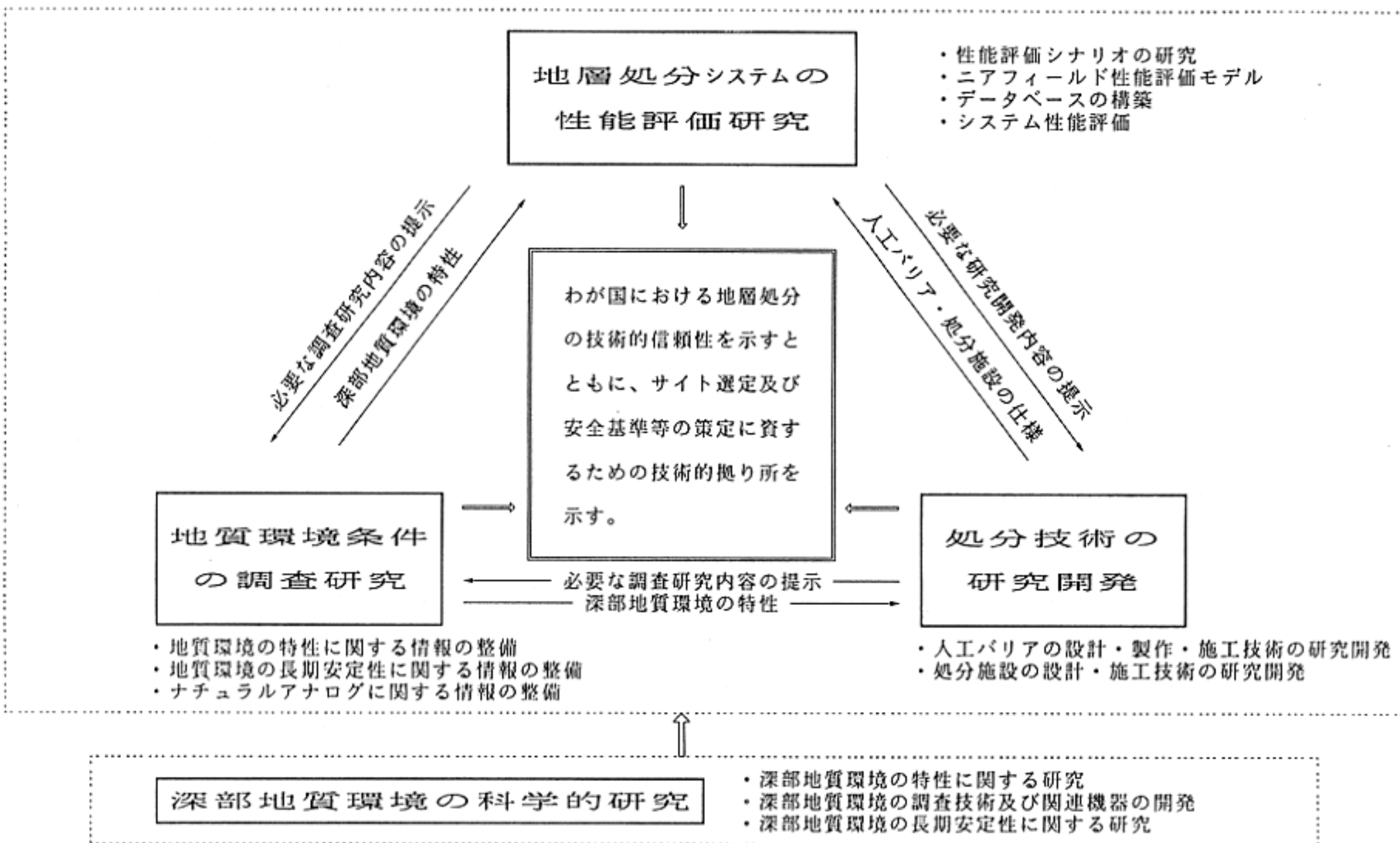
- ① 地層処分の安全原則と技術基準 [4]
- ② 事例：フランスの安全評価 [5]
- ③ 事例：カナダの安全評価 [6]

3. 安全指標の考え方

- ・ 事例：スウェーデンの安全評価 [7][8]

参考文献

- [1] ICRP (1985): Radiation Protection Principles for the Disposal of Solid Radioactive Waste, Annals of the ICRP, ICRP Pub. 46.
- [2] OECD/NEA (1995): Future Human Actions at Disposal Sites.
- [3] NAS(1995): Technical Bases for Yucca Mountain Standards National Research Council, National Academy Press, Washington, D. C.
- [4] IAEA (1989): Safety Principles and Technical Criteria for the Under-ground Disposal of High Level Radioactive Wastes, IAEA Safety Series No. 99.
- [5] DSIN (1991): Fundamental Safety Rule, Rule No. III. 2. f.
- [6] AECB (1987): Regulatory Objectives, Requirements and Guidelines for the Disposal of Radioactive Wastes-Long-Term Aspects, AECB REGULATORY DOCUMENT R-104.
- [7] Nordic Countries(1993): Disposal of High Level Radioactive Waste; Consideration of Some Basic Criteria, The Radiation Protection and Nuclear Safety Authorities in Denmark, Finland, Norway and Sweden.
- [8] SKB(1995): SR95 Template for Safety Reports with Descriptive Example, SKB TR96-05.



地層処分研究開発	研究領域	第1次取りまとめの成果	第1次取りまとめ以降 現在までの成果	第2次取りまとめに 期待される成果	第2次取りまとめ以降の 研究開発の方向
	地質環境条件の 調査研究	既存文献データの体系的 整理	深部地質環境データの充実	実測データに基づく評価	体系的調査手法の整備
	処分技術の 研究開発	現状技術が適用できる見通 しを提示	人工バリア技術の工学規模 の試験データの取得	工学規模の試験等に基づく 人工バリア技術の提示	人工バリア技術の最適化
	地層処分システムの 性能評価研究	多重バリアシステムの基本 性能を例示的に評価	ニアフィールド性能評価 モデルの改良、検証、 データ取得	信頼性の高いモデルとデー タに基づくニアフィールド 性能の定量的評価	安全評価モデル、データ 整備と品質保証



科学的 研究	深部地質環境の	研究領域	現在まで	第2次取りまとめまで及びそれ以降
		・ 深部地質環境の特性に関する研究 ・ 深部地質環境の調査技術及び関連機器の開発 ・ 深部地質環境の長期安定性に関する研究	地表から深度数百mまでの岩盤及び地下水に関する科学的研究	地表から深度1,000mまでの岩盤及び地下水に関する定量的な科学的研究

研究領域	第1次取りまとめの成果	第1次取りまとめ以降現在の成果	第2次取りまとめに期待される成果	第2次取りまとめ以降の研究開発の方向
地質環境条件の調査研究	地質環境の特性に関する情報の整備 - 日本全国を対象とした既存文献データの体系的整理(岩石の力学特性:約3,700件、水理特性:約500件、地下水の地球化学特性:約14,500件の文献データ抽出、地下深部データは稀少) - 坑道からの湧水を利用したEh測定(深部地下水は還元性)	- 文献による最新の学術的知見や情報の取り込み - 実測値の充実(ボーリングや地下坑道を利用して、深度数百mまでの地下水の水質、岩盤の透水性・力学特性、断層破碎帯や割れ目の分布データを取得中)	- 深度1,000m程度までの地質環境を対象とした実測データ及び最新の学術的な知見や情報に基づくニアフィールド特性に関する情報の整備 - 地層処分にとって重要な地質環境上の要件の整理と、これを満たす地層がわが国に広く存在する可能性の提示	深度1,000m程度までの地質環境に関する体系的なデータの整備による地下深部の理解の増進
	地質環境の長期安定性に関する情報の整備 - 日本全国を対象とした天然現象に関する既存情報や知見の体系的整理(地震・断層の特徴、隆起・侵食の速度(多くの場合せいぜい1m/1,000年)、火山・火成活動の地域性、気候・海水準変動の周期性) - 天然現象の起こり方には規則性があり、将来の変化を予測することが可能であるとの見通しを提示	- 文献による最新の学術的知見や情報の取り込み - 地下深部における地震の影響の計測(地上に比べ地下での揺れが小さいこと、地下水の水質変化は短期間で回復) - 天然現象の過去の活動履歴を調査する手法を整備中	- 天然現象の活動履歴に関する事例研究の成果及び最新の学術的知見や情報に基づく、地層処分の観点から十分に安定な地域が広く存在する可能性の提示 - 天然現象が多重バリアシステムに与える影響の可能性を評価するための知見の整備	具体的な地域において、将来の天然現象の発生の可能性やその影響を評価
	地質環境の調査のための手法・機器の開発 - 地質環境に関するデータを精度よく収集するための既存の調査技術や計測技術に関する開発状況のとりまとめ - 深度500mまでの地下水調査機器の開発	深度1,000mまでの地下水調査機器や岩盤中の亀裂系を検知するための物理探査技術を開発中	- 深度1,000mまでの地質環境を調査する手法・機器の整備をほぼ完了 - サイト特性調査の項目の明確化	地表及び地下における体系的調査技術の確立

研究領域	第1次取りまとめの成果	第1次取りまとめ以降現在の成果	第2次取りまとめに期待される成果	第2次取りまとめ以降の研究開発の方向
人工バリアの設計・製作・施工技術の研究開発 処分施設の設計・施工技術の研究開発	・オーバーバック候補材料の比較と炭素鋼オーバーバックの仕様例の提示 ・実寸大オーバーバックの試作による設計、製作技術の確認 ・国産ベントナイトの基本物性の測定 ・ベントナイト単体の締め固め試験による製作可能性の確認 ・人工バリアシステムの仕様例の提示 (処分孔設置方式、坑道横置き方式)	・複合オーバーバック設計例の検討中 ・熱-水-応力連成現象に関するデータ測定 ・せん断試験による圧縮ベントナイトへの力学モデルの妥当性の検討 ・1/5スケール横置型人工バリアの振動試験による剛体としての挙動の確認	・地質環境条件に応じたオーバーバック (複合オーバーバックを含む) の具体的設計要件の提示 ・製作・施工技術の開発、溶接部の試験方法等の品質管理手法の提示 ・工学規模の試験等を通じた緩衝材の物性評価や仕様、施工技術や品質管理手法の提示・熱伝導性や核種収容性を高めるような緩衝材材料の提示 ・ニアフィールド性能を確保する信頼性の高い人工バリアの具体的設計要件の提示 ・製作・施工技術と品質管理手法の技術的基盤の整備	・具体的な地質環境条件に対する人工バリア仕様の最適化
	・地下空洞の安定性、ニアフィールド温度分布に関する解析評価と処分施設の設計例の提示 ・建設、操業、閉鎖技術について現状技術が適用できる見通しの提示	・既存空洞を対象とした事例解析による地下空洞安定性解析モデルの妥当性の検討 ・埋戻し材料の特性の把握 ・原位置試験に基づくグラウト注入技術の確認 ・計算機を利用した設計支援システムの基本設計	・わが国の幅広い地質環境に対応した処分施設の設計要件と合理的な仕様例の提示 ・立坑や処分坑道の建設技術、処分坑道への定置技術などの要素技術の具体例の提示 ・閉鎖技術に関する材料開発、設計手法と施工技術の開発、仕様の検討と工学規模の試験等による性能の提示 ・設計・建設・操業・閉鎖の全体スケジュール、モニタリング技術、物量・物流の評価を含む経済性の観点からの検討結果の提示	・具体的な地質環境条件の下に処分施設仕様の最適化

研究領域	第1次取りまとめの成果	第1次取りまとめ以降現在の成果	第2次取りまとめに期待される成果	第2次取りまとめ以降の研究開発の方向
性能評価シナリオの研究	- 考慮すべきシナリオを接近シナリオと地下水シナリオに分類 - 接近シナリオに対しては安定な地層を選定する、地下水シナリオに対しては多重バリアシステムの性能を解析評価するとの基本的アプローチを提示	- 体系的なシナリオ開発の方法論に従った要因リストの作成と各要因に関する最新の知見の整理及びデータベース化 - 地質環境の長期的変動等を考慮した地下水シナリオの検討	- わが国における地層処分の性能評価において考慮すべき要因の標準的リスト、関連情報のデータベース作成、要因間の相互関係の明確化 - シナリオに対応した評価の考え方を明示	安全評価に資するためのシナリオ関連情報のデータベースの拡充
ニアフィールド性能評価モデルの開発	わが国の地質環境条件を幅広く想定した多重バリアシステム全体の性能を解析するための、保守性を考慮した基本モデル体系の構築（地質環境条件を与えるモデル、ニアフィールド環境に関するモデル、人工バリア挙動モデル、核種移行解析モデル）	ニアフィールドに関する個々の現象に即した詳細なモデルの開発と実験等による妥当性の確認	- ニアフィールドの性能を信頼性をもって評価するための、現象をより詳細かつ忠実に表現するモデル群の開発 - ファーフールドの主要な地下水移行経路に沿った概略的核種移行モデルの開発	具体的な地域において適用可能な、より詳細な地下水移行経路に対するファーフールド核種移行モデルやより詳細な生物圏評価モデルの開発
データベースの構築	地下深部における条件を必ずしも反映していない実験データや各国で得られているデータに基づく保守的なデータセットの構築	- 溶解に関する熱力学データの整備と妥当性評価 - 緩衝材や岩石試料（花崗閃緑岩、凝灰岩）に対する還元条件での収着及び拡散データの取得	ガラス固化体、オーバーバック、緩衝材、岩盤に関する信頼性の高いデータの整備とその品質保証	安全評価に資するためのデータの拡充とその品質保証
システム性能評価	- 地下水シナリオに対する多重バリアシステムの基本性能を例示的に評価 - 感度解析による主要なパラメータの抽出	- 個別モデルの統合化手法、計算コードやデータセットの品質管理システムの検討 - 生物圏モデルの検討	- 変動を含むシナリオに対応するシステム全体の性能評価 - 信頼性の高いモデルとデータを用いたニアフィールド性能の詳細な評価 - 主要な地下水移行経路に対するファーフールド性能の概括的評価 - 生物圏に関する例示的な解析に基づく多重バリアシステム全体の安全性の提示 - システム全体の性能評価の信頼性を高めるためのナチュラルアナログの適用性明示 - 高度な計算機システムの整備による性能評価解析機能の向上と品質保証	具体的な地域における地層処分システムの安全評価

(注) 上記研究開発において、地質環境に関連する情報については、深部地質環境の科学的研究の成果を活用する。

	第1次取りまとめまで	現在まで	第2次取りまとめまで	第2次取りまとめ以降
深部地質環境の特性に関する研究	地下坑道からの湧水の水質を連続的に観測 (得られたデータは、深部地下水が還元性であることの例示情報の整備に反映)	- ボーリング孔や地下坑道から、深度500m程度までの地下水の水質、岩盤の透水性、力学特性、割れ目の分布等を観察 (得られたデータは、地質環境の特性に関する情報の整備に反映) - 割れ目への粘土の注入に伴う岩盤の性質の変化を観測 (得られたデータは、グラウトによる止水技術の検討のための情報の整備に反映)	- ボーリング孔を利用し、地表から深度1,000m程度までの地下水及び岩盤の性質を観察 (得られたデータは、地質環境の特性に関する実測情報の充実及び性能評価モデルの検証等に反映) - 坑道の掘削や粘土の充填等に伴う岩盤及び地下水の性質の変化を観測 (得られたデータは、地下構造物の建設・施工技術の検討のための情報の整備に反映)	深度1,000m程度までの地下坑道を利用し、地下水及び岩盤の性質を詳細に観察 (深部地質環境に対する理解の向上に反映)
深部地質環境の調査技術及び関連機器の開発	深度500mまでに対応できる地下水調査機器を開発し、ボーリング調査に活用	- 深度1,000mまでに対応できる地下水調査機器を開発し、ボーリング調査に活用 - 岩盤中の割れ目を検知するための物理探査技術を開発中、地下坑道での調査に活用	ボーリングや物理探査等を組み合わせて、深度1,000mまでの地質構造や地下水の性質を効率的に観察するための調査技術を開発	地表調査と地下坑道での調査を組み合わせて、深度1,000mまでの地下水及び岩盤の性質を詳細に観察するための体系的調査技術を開発
深部地質環境の長期安定性に関する研究	地下坑道を利用して、地震による地下での揺れを連続的に観測 (得られたデータは、地震による地下での揺れが地表に比べて小さいことの例示情報の整備に反映)	- 地下坑道を利用して、地震による揺れと地下水の性質の変化を連続的に観測 (得られたデータは、地震による地下水への影響が一時的であることの例示情報の整備に反映) - 天然現象の活動履歴を調査するための手法を整備し、事例研究を開始	- 事例研究により、天然現象の活動履歴を観察 (得られたデータは、地質環境の安定性の検討や性能評価シナリオの検討のための情報の整備に反映) - 地下坑道を利用した地震・地下水観測を継続 (地震による地下水への影響が一次的であることの例示情報の充実に反映)	事例研究や古水理地質学の技術を活用することにより、天然現象による影響を理解するための研究手法を開発

		平成8年 (1996)	平成9年 (1997)	平成10年 (1998)	平成11年 (1999)	平成12年以降 (2000年以降)	主要試験研究施設
地質環境条件の調査研究	【実施内容】	第2次取りまとめ (地質環境上の要求を整理するための情報の整備) (天然現象の特性に重点を置いた情報の整備) (シナリオの妥当性に重点を置いた情報の整備) (影響評価に重点を置いた情報の整備) (モデル・データの妥当性に重点を置いた情報の整備)					・深部地質環境の科学的研究の成果の活用 ・国内外における学術的研究の成果やボーリングデータの活用
	<地質環境の特性に関する情報の整備>						
	- 岩石の性質・分布・連続性、断層破碎帯の特性等						
	- 地下水の涵養量、岩盤の透水性・動水勾配の分布等、深部地下水の流束						
	- 深部地下水の化学組成・酸化還元電位等、地下水の起源・岩石との反応・地下水の混合に基づく水質形成機構						
	- 深部岩盤の物性・力学特性、応力分布、坑道掘削等による深部岩盤への影響						
	- 深部岩盤の空隙構造・鉱物学的特徴、物質移動の経路・様式、吸着・遅延能力						
	<地質環境の長期安定性に関する情報の整備>						
	- 隆起・沈降・侵食の規模・速度・地域性、規則性、機構						
	- 断層の活動特性、地質環境への影響の範囲と程度、地震による地下水等への影響						
	- 火山活動の規模・地域性・時間的変遷・機構、地熱系の分布・熱源、地質環境への熱的影響等						
	- 気候・海水準変動の形態・規模、侵食・地下水流動等への影響						
	<ナチュラルアナログに関する情報の整備>						

	平成8年 (1996)	平成9年 (1997)	平成10年 (1998)	平成11年 (1999)	平成12年以降 (2000年以降)	主要試験研究施設		
【実施内容】 ＜人工バリアの設計・製作・施工技術の研究開発＞ ○人工バリアの設計手法の開発と仕様の検討 －設計解析手法の開発（構造解析、熱解析、しゃへい性等） －炭素鋼オーバーパックの仕様（形状、寸法、重量等）の検討 －代替オーバーパック（チタンや銅の複合オーバーパック）の仕様（形状、寸法、重量等）の検討 －緩衝材の物性評価と仕様（形状、寸法、重量等）の検討 －熱伝導性や核種収着性を高めるような緩衝材材料の開発 ○人工バリアの製作・施工技術の開発と品質管理手法の検討 －オーバーパックの製作技術と品質管理手法（溶接部の試験方法等）の検討 －緩衝材の施工技術の開発と品質管理手法の検討 ○人工バリア健全性の検討 －構造力学安定性の検討 －耐震安定性等の検討 －健全性等の確認試験 ＜処分施設の設計・施工技術の研究開発＞ ○処分施設の要素技術の開発 －設計手法の開発（空洞安定性、熱的安定性の解析手法の開発） －立坑や処分坑道（処分孔）の建設技術の検討 －操業システム（処分坑道への定置技術を含む）の検討 －閉鎖技術の開発 （材料開発、設計手法と施工技術の開発、仕様の検討、工学規模試験、性能の解析・評価等） ○処分施設の設計・建設・操業・閉鎖の工程 －調査・設計・建設・操業・閉鎖の全体スケジュールの検討 ○処分システム全体の経済性の検討 －物量・物流の評価 －経済性評価				第2次取りまとめ		地層処分基盤研究施設 地層処分基盤研究施設 地層処分基盤研究施設 ・防災科学技術研究所、等 地層処分基盤研究施設 地層処分基盤研究施設 URL（カナダ） 地層処分基盤研究施設		

*：防災科学研究所（動燃事業団との共同研究）

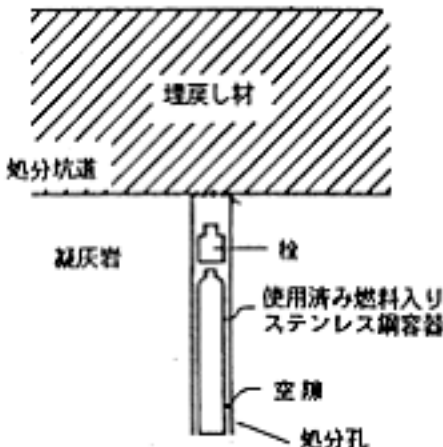
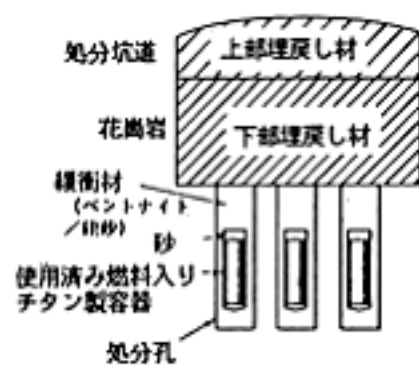
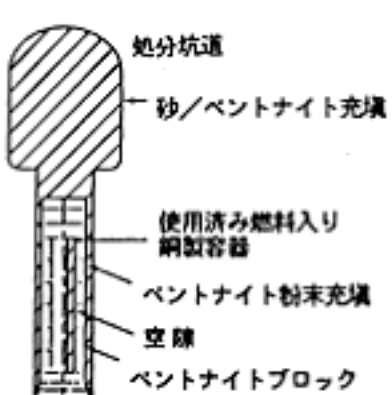
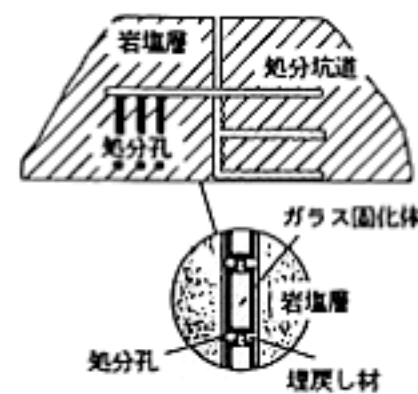
**：地層処分基盤研究施設

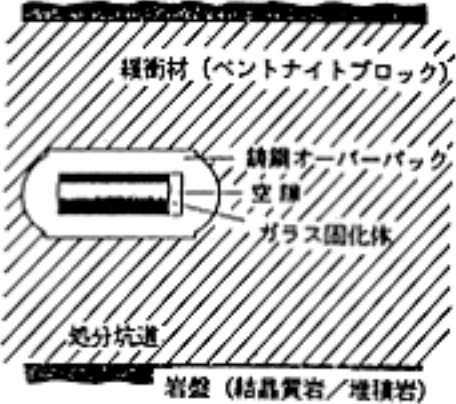
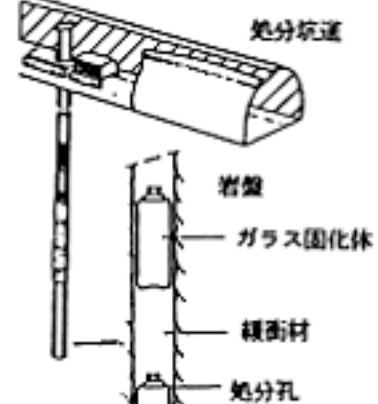
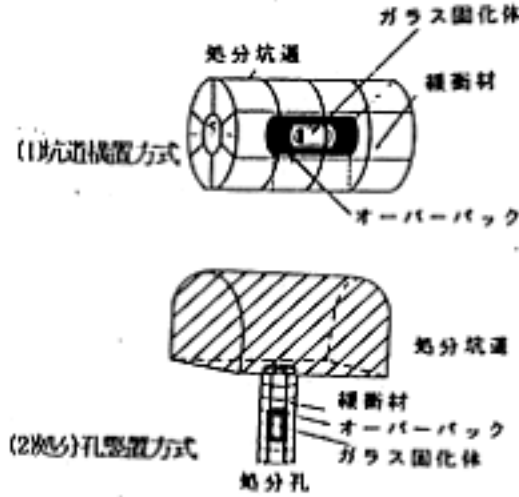
	平成8年 (1996)	平成9年 (1997)	平成10年 (1998)	平成11年 (1999)	平成12年以降 (2000年以降)	主要試験研究施設
地層処分システムの性能評価研究 【実施内容】 ＜性能評価シナリオの研究＞ -シナリオ要因リストの作成と関連情報のデータベース化 -シナリオ要因間相互関係の把握と性能評価シナリオの明確化 ＜ニアフィールド性能評価モデル＞ ○ニアフィールド環境のモデル化 -3次元亀裂ネットワークモデルによる統計的水理モデルの開発 -地下深部の地下水水質形成モデルの開発 -不飽和状態における坑道周辺の酸化還元反応に関する速度論的モデルの検討 -物質移動と化学反応の連成による人工バリアの化学的緩衝モデルの開発 -不飽和状態における緩衝材の応力-ひずみモデルの開発と熱-水-応力連成モデルへの組み込み ○人工バリア性状変化のモデル化 -炭素鋼の腐食モデルの開発 -ベントナイトのイライト化に関する詳細モデルの開発 -緩衝材成型体の粘弾塑性モデルの開発 ○物質移動のモデル化 -掘削影響領域を考慮したニアフィールド性能評価モデルの開発 -亀裂内の不均質性と変質鉱物を考慮した物質移動モデルの開発 -ニアフィールドにおけるガス移行モデルの開発 -コロイド輸送モデルの開発				第2次取りまとめ	長期試験に基づく 評価の信頼性の向上	} 地層処分基盤研究施設 } 地層処分基盤研究施設 } 地層処分基盤研究施設 廃棄物安全試験施設 ・地層処分基盤研究施設 } 地層処分放射化学研究施設 URL(カダ)カミゼン岩盤試験場(スイ)等 } 地層処分基盤研究施設

地層処分システムの性能評価研究		平成8年 (1996)	平成9年 (1997)	平成10年 (1998)	平成11年 (1999)	平成12年以降 (2000年以降)	主要試験研究施設
	<データベースの構築> - 緩衝材の長期的クリープに関するデータ - 核種の緩衝材への分配係数 - ベントナイト鉱物に関する熱力学データ - 核種の岩石への分配係数 - ガラス長期溶解速度 - オーバーバック長期腐食速度及びチタン・銅の局部腐食発生条件 - 溶解度に関する熱力学データ - 周辺地層・岩体中の亀裂特性 - 周辺地層・岩体中の鉱物に関する熱力学データ		データベースの構築			安全評価のための拡充	地層処分基盤研究施設 地層処分放射化学研究施設 燃料サイクル安全工学研究施設 廃棄物安全試験施設
	<ナチュラルアナログ研究> - 火山ガラスの溶出挙動の研究 - 金属の考古学的出土品等における腐食履歴の解析 - ベントナイト鉱床を利用した研究					安全評価のためのモデル改良	地層処分基盤研究施設 HRL(スウェーデン)
	<ファーストフィールドの概括的評価に関する研究> - 主要な地質構造要素における水理・物質移動モデルの開発						
	<システム性能評価> - 計算コードの検証 - 感度解析・不確実性解析の実施 - 性能評価解析支援システムの構築					支援システムの改良	地層処分基盤研究施設 日本原子力研究所

(注) 実施内容については、今後の研究開発の進展等により適宜見直されるものである。

(注) 実施内容については、今後の研究開発の進展等により適宜見直されるものである。

	アメリカ	カナダ	スウェーデン	ドイツ
処分概念	 埋戻し材 処分坑道 凝灰岩 投 使用済み燃料入りステンレス鋼容器 空隙 処分孔	 処分坑道 上部埋戻し材 花崗岩 下部埋戻し材 縦断材 (ベントナイト/砂) 砂 使用済み燃料入りチタン製容器 処分孔 (オプションとして坑道横置方式も研究)	 処分坑道 砂/ベントナイト充填 使用済み燃料入り鋼製容器 ベントナイト粉末充填 空隙 ベントナイトブロック	 岩塩層 処分坑道 処分孔 ガラス固化体 岩塩層 埋戻し材
処分の形態	使用済燃料、ガラス固化体	使用済燃料	使用済燃料	使用済燃料、ガラス固化体
候補地層 (深度)	凝灰岩 (ユッカマウンテン) (350m)	花崗岩 (500m ~ 1000m)	花崗岩 (約500m)	岩塩 (600m ~ 900m)
地下水条件	不飽和	飽和	飽和	地下水は基本的に存在しない
研究主体	DOE (エネルギー省)	AEC (カナダ原子力公社)	SKB (スウェーデン核燃料廃棄物管理会社)	BfS (連邦放射線防護庁)
実施主体との関係	同一	未定	同一	同一
研究開発の進め方	1985 DOEミッションプラン (処分場開発計画) 1987 ユッカマウンテンを処分場候補地に選定 1988 サイト特性調査計画 1991 地表からのサイト特性調査開始 1994 探査研究施設での掘削開始 1998 サイト適性評価 2000 環境影響評価報告書 (2010 処分場操業開始)	1981 核燃料廃棄物管理プログラム 1994 環境影響評価報告書 (EIS) 1994 環境評価レビューパネルの評価 1996 処分概念について公聴会 1997 199X 処分概念可否についての政府判断	1983 安全評価書 (KBS-3) 1986 研究開発計画書 (R&D-86) (3年毎に改訂, SKIがレビュー) 1990 HRL建設開始 1992 安全評価書 (SKB 91) SKB研究開発実証計画 (RD&D-92) 1993 予備的サイト特性調査開始 1995 SKB研究開発実証計画改訂 (RD&D-95) 199X 環境影響評価書 (2008 試験的処分開始) (2020 処分場操業開始)	1979 ゴアレーベン最終処分プロジェクトボーリング調査開始 1984 安全研究報告書 (PSE) 1988 性能評価書 (CEC PAGIS) 1991 カラーベン安全評価書 (当初予定) ただし、進捗が遅れ現在に至る (2008 処分場操業開始)
地下研究所	ユッカマウンテン (凝灰岩)	ホワイトシェル (花崗岩)	エスポ島 (花崗岩)	ゴアレーベン (岩塩)

	ス イ ス	フ ラ ン ス	イ ギ リ ス	日 本
処分概念			未 定	
処分の形態	ガラス固化体	ガラス固化体	ガラス固化体	ガラス固化体
候補地層(深度)	結晶質岩(約1200m)または堆積岩(約850m)	花崗岩、泥岩(未定)	未 定	未 定(数百m以深)
地下水条件	飽和	飽和	未 定	飽和
研究主体	NAGRA (放射性廃棄物管理全国組合)	ANDRA(放射性廃棄物管理機関)	未 定 (NIREX)*	動燃事業団が中核
実施主体との関係	未定	同一		未 定
研究開発の進め方	1978 NAGRA放射性廃棄物管理計画 1985 安全評価書(Gewähr-85) 1992 NAGRA放射性廃棄物管理計画改訂 1994 安全評価書(Kristallin I):結晶質岩 2000 堆積岩の評価を含む総合安全評価書 (2020 処分場操業開始)	1983 CEA放射性廃棄物全体計画 1988 性能評価書(CEC PAGIS) 1995 地下研究施設候補地3ヵ所に絞る 1996 候補地での地下研究所の許可申請ならびに公聴会 1998 地下研究施設建設開始 2006 総合評価報告書	貯蔵期間は50年間としている。地層処分研究開発に関する手順は示されていない。 地域を特定しない実現可能性に関する基礎研究段階にある。	1976 放射性廃棄物対策について(原子力委員会) 1989 研究開発の重点項目とその進め方(原子力委員会) 1992 第1次取りまとめ(H3レポート) 1993 国(原子力委員会)の評価 1994 「原子力開発利用長期計画」改訂 1999 第2次取りまとめ 2000頃 国の評価 (2030~2040代半ば 処分場の操業開始)
地下研究所	グリムゼル岩盤試験場(花崗岩)	候補地を3ヵ所選定(オート・マヌ、ムーズ県(泥岩)、オース県(泥岩)、ヴェズ県(花崗岩))	(セラフィールド(火山岩類))*	超深地層研究所(花崗岩) 貯蔵工学センター(堆積岩)(計画中)

(注) () * 内は低中レベル廃棄物処分为対象とする