地層処分におけるセーフティケースの構築

（1）NUMOセーフティケースの全体概要

日本原子力学会バックエンド夏期セミナー

2016年8月4日

原子力発電環境整備機構（NUMO）
出口　朗

NUMOセーフティケース作成の背景

- 2011年3月の東北地方太平洋沖地震，東京電力福島第一原子力発電所事故の発生により，原子力事業全般に対する国民の信頼が失墜。地層処分についても，学術会議にて科学技術の限界の自覚，原子力委員会の見解にて最新知見に基づく安全性の定期的な確認と国民との共有の必要性などが指摘された。

- 国の審議会（廃棄物WG，技術WG）にて，これまでの地層処分の取組みや技術的信頼性について原点に立ち返った議論が行われた。この結果，最新の科学的知見を踏まえても，わが国に好ましい地質環境が存在し，選定できる見通しがあること，地層処分を進めることは有力な対処方策であること，地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映する必要性などが再確認された。また，最終処分基本方針において，国が科学的有望地を示し，立地への理解を求める方針が示された。

わが国の地質環境の特徴に対処しながら，どのように安全な処分場を構築するのか，事業者として，最新の科学技術的知見に基づいて安全な地層処分の実現性を示すことは，地層処分の技術的信頼性を高め，今後の事業展開への着実な準備を図るために重要

NUMOセーフティケース作成の目的

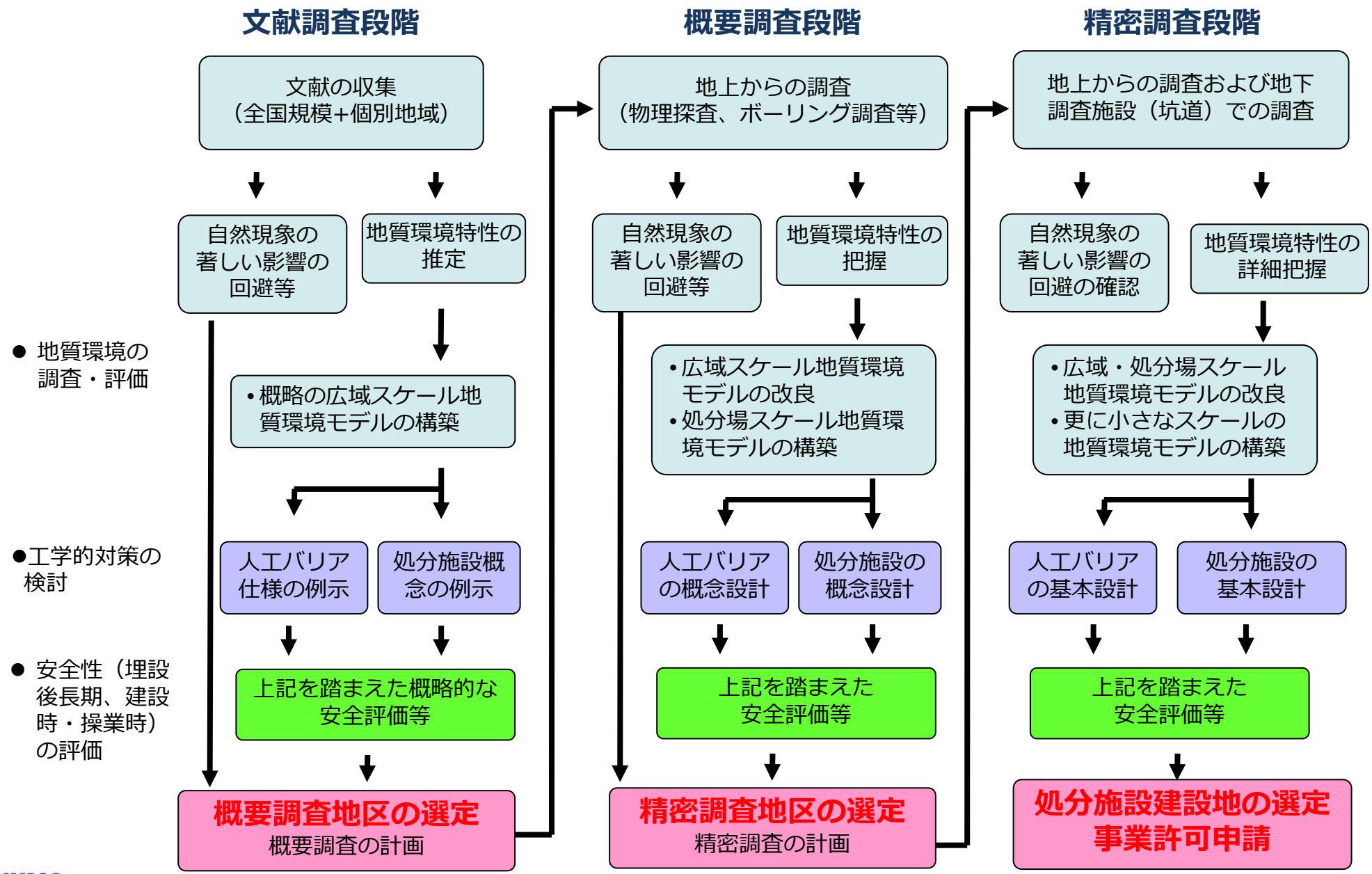
最新の科学的知見や技術開発成果に基づき，わが国における安全な地層処分の実現性を提示すること。

① 最新の科学的知見を踏まえて，わが国において安全な地層処分が実現可能であることをあらためて提示すること（第2次取りまとめの再確認）

② 文献調査以降の作業に即応するための技術の準備状況の提示

③ 事業の信頼性向上に向けた重要な技術開発課題の抽出

三段階のサイト選定プロセス



今回のセーフティケースの位置づけ

■ セーフティケースとは

- 事業者が科学技術的な論拠と証拠を尽くして処分場の安全性が確かなものであることを説明する一連の文書のこと
- 地層処分の長期安全性に対する信頼を確かなものとしていくため，事業の各段階において，その時点の最新の知見・情報を反映して繰り返し更新
- 技術的信頼性をステークホルダーと共有し，段階的な意思決定において地層処分の安全性の判断材料となる

■ 文献調査段階以降における主要な実施事項

① 自然現象の著しい影響の回避
② 地質環境モデル（SDM）の作成
③ 人工バリア・処分施設の設計，安全評価の提示
④ 次段階の調査計画と技術開発計画の提示

⇒ 文献調査開始以降，これらの結果およびモデル・パラメータ等の設定根拠・情報などをセーフティケースとして繰り返し取りまとめる。

セーフティケースの概念は本報告書の目的と整合的。本報告書は，文献調査段階以降に更新するセーフティケースの雛型となる。

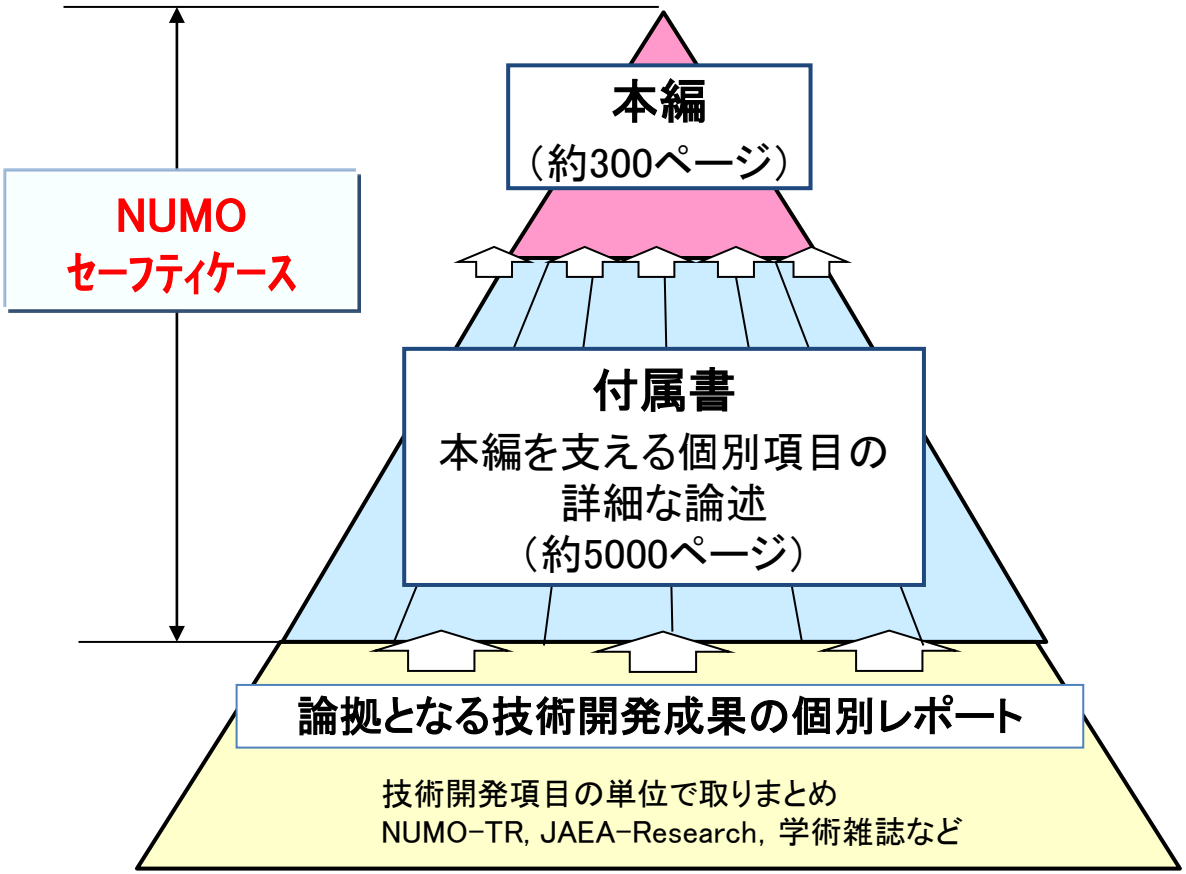
NUMOセーフティケース作成の基本的な方針

処分場の候補となる場所や母岩が特定されていない現段階において，安全な地層処分の実現性を示すために，以下の方針で検討を進める。

- 地層処分の候補となり得る岩種（候補母岩）に対し，地下研などで得られている最新の地質環境の理解を踏まえて，リアリティのある地質環境モデルを設定する。
- 候補母岩の地質環境モデルに対して，最新の知見や技術を用いて，処分場の設計から安全性の評価までの一連のケーススタディを実施する。
- これらにより，文献調査段階以降の実践的な地質環境モデル構築，設計および安全評価の方法論の整備が進んでいることを示す。
- また，わが国の地質環境に対する処分場の閉鎖前および閉鎖後長期の安全性の見通しを提示する。
- あわせて，サイトが特定されていない現段階における今後の技術開発課題を明らかにする。

NUMOセーフティケースの構成と対象読者

● 地層処分の専門家



● 他分野の専門家
● 地層処分に関心をお持ちの方

「地層処分の現状と展望（仮称）」（導入編）

地層処分の基本的考え方を丁寧に
記した平易な読み物
（約50ページ）

- ◆ なぜ放射性廃棄物の処分が必要なのか
- ◆ なぜ地層処分が選択されたのか
- ◆ **数十万年もの長期の安全性をどのように担保するのか**
- ◆ **火山や地震が多いわが国でも地層処分ができるのか**
- ◆ これからわが国は地層処分をどのようにしていくべきか

セーフティケース報告書は地層処分の専門家向け。別途，報告書のエッセンスの一部を反映した非専門家向けの文書（導入編）を作成

NUMOセーフティケースの構造

処分システムの開発の所与の段階におけるセーフティケースの目的と内容
(Purpose and context of the safety case at a given stage of development of a disposal system)

安全戦略(Safety strategy)

- 管理戦略 (Management strategy)
- 立地と設計戦略 (Siting and design strategy)
- 安全評価戦略 (Safety assessment strategy)

評価基盤(Assessment basis)

- システム概念-処分場サイトと設計 (System concept-repository site and design)
- 科学的と技術的情報と理解 (Scientific and technical information and understanding)
- 手法、モデル、コンピューターコード及びデータベース (Methods, models, computer codes and database)

安全評価、証拠及び論証(Safety assessment, evidence and arguments)

- 不確実性の影響の解析を含む安全評価 (Safety assessment including analysis of impact of uncertainties)
- サイトと設計の本質的な品質 (Intrinsic quality of site and design)
- ナチュラルアナログ (Natural analogues)
- 品質保証の論拠 (Arguments for quality assurance)
- 不確実性と未解決の課題を扱う戦略の妥当性 (Adequacy of strategy to address uncertainties and outstanding issues)
- 追加の証拠と論拠 (Additional evidence and arguments)

統合(Synthesis)

目的と背景に対応した鍵となる知見と信頼性に関する記述
(Key findings and statement of confidence *vis-à-vis* purpose and context)

OECD/NEAやIAEAが提示しているセーフティケースの概念を参考に報告書を構成

- 1章:はじめに
- 2章:安全戦略
- 3章:地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化
- 4章:処分場の設計と工学技術
- 5章:閉鎖前の安全性の評価
- 6章:閉鎖後長期の安全性の評価
- 7章:わが国における地層処分の技術的信頼性
- 8章:結論

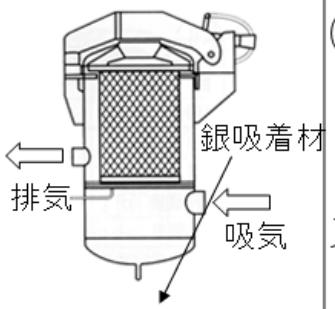
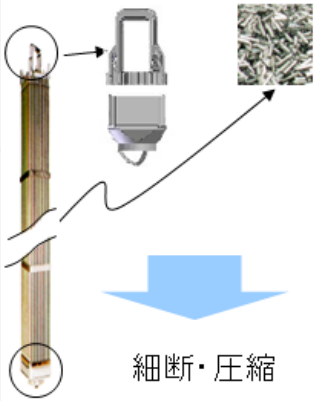
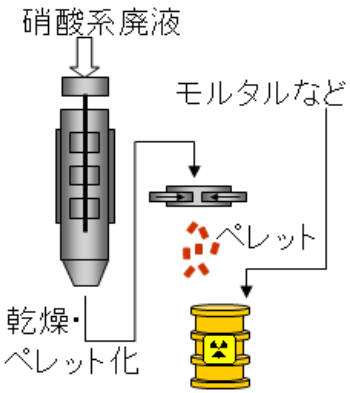
OECD/NEA (2013), The Nature and Purpose of the Post-closure Safety Cases for Geological Repositories,

前提：地層処分の対象廃棄物

① 高レベル放射性廃棄物：ガラス固化体4万本

発熱量：350 ～600W
重量：約0.5 tons
高さ：約1.3 m
直径：約0.4 m
ステンレス製容器厚さ：6 mm
表面線量：約200 Sv/時間

② TRU廃棄物：19,000m^3

概要	廃銀吸着材  放射性のヨウ素を除去する吸着材料	エンドピース　ハル  	濃縮廃液など  	難燃性廃棄物 ゴム手袋（焼却・圧縮） 不燃性廃棄物 工具 金属配管
廃棄体イメージ（例）	 ドラム缶	 キャニスタ	 ドラム缶	 角型容器 ドラム缶
特徴	・放射性ヨウ素（I-129）を含む ・セメント固化体	・発熱量が比較的大 ・放射性炭素（C-14）を含む	・硝酸塩を含む ・モルタル，アスファルトによる固化体など	・焼却灰，不燃物 ・セメント固化体など
グループ	1	2	3	4

可溶性，非収着性，長寿命核種

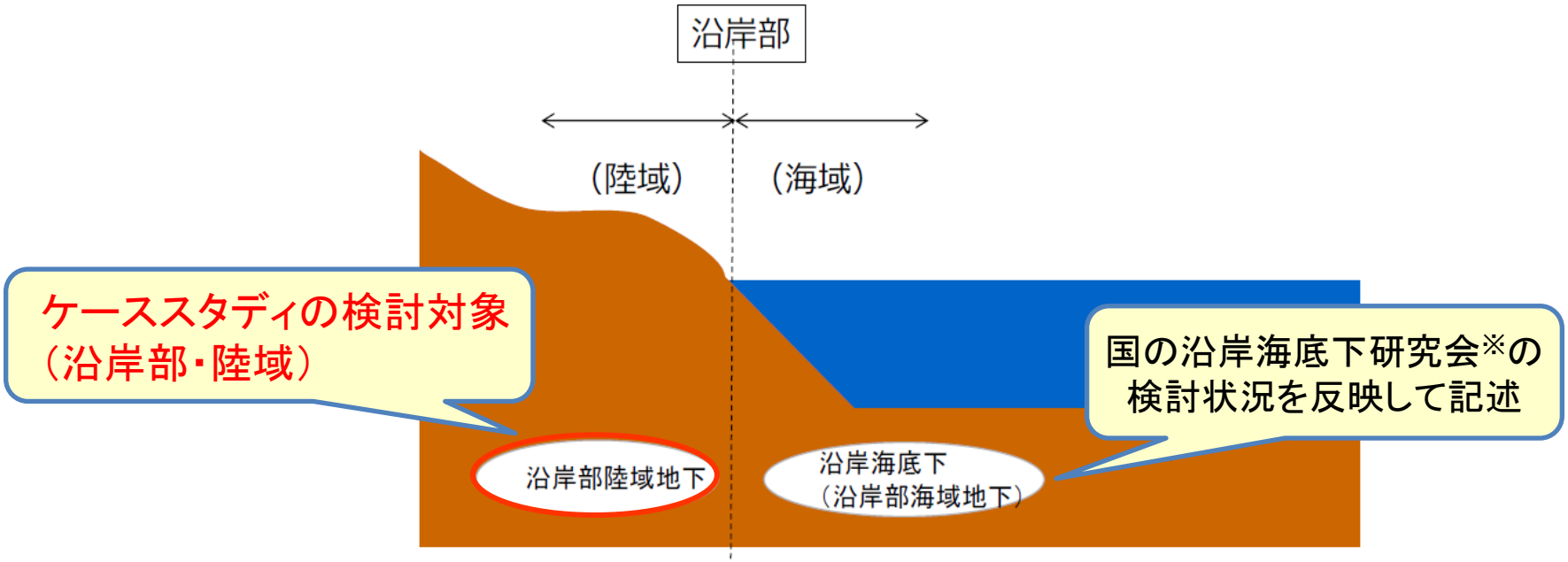
緩衝材や母岩の収着性を低下させる

➢合理的な併置処分を前提

留意事項

- 地層処分施設の安全規制要件は今後整備
  安全性を評価する期間や基準は未設定
  →諸外国の規制を参考にNUMOで仮設定

- 科学的有望地との整合性
  「より適性の高い地域」として示されつつある沿岸部を考慮



※：沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会

安全戦略 －サイト選定戦略(1/4)－

3段階の調査により，サイトが所要の安全機能を有していることを確認

① 閉鎖前の安全確保

- 自然災害の発生可能性と影響を把握し，必要に応じた工学的対策を検討
- 工学的な対応が困難な著しい影響が生じる可能性が大きい場所は除外

② 閉鎖後長期の安全確保

（隔離機能の確保）

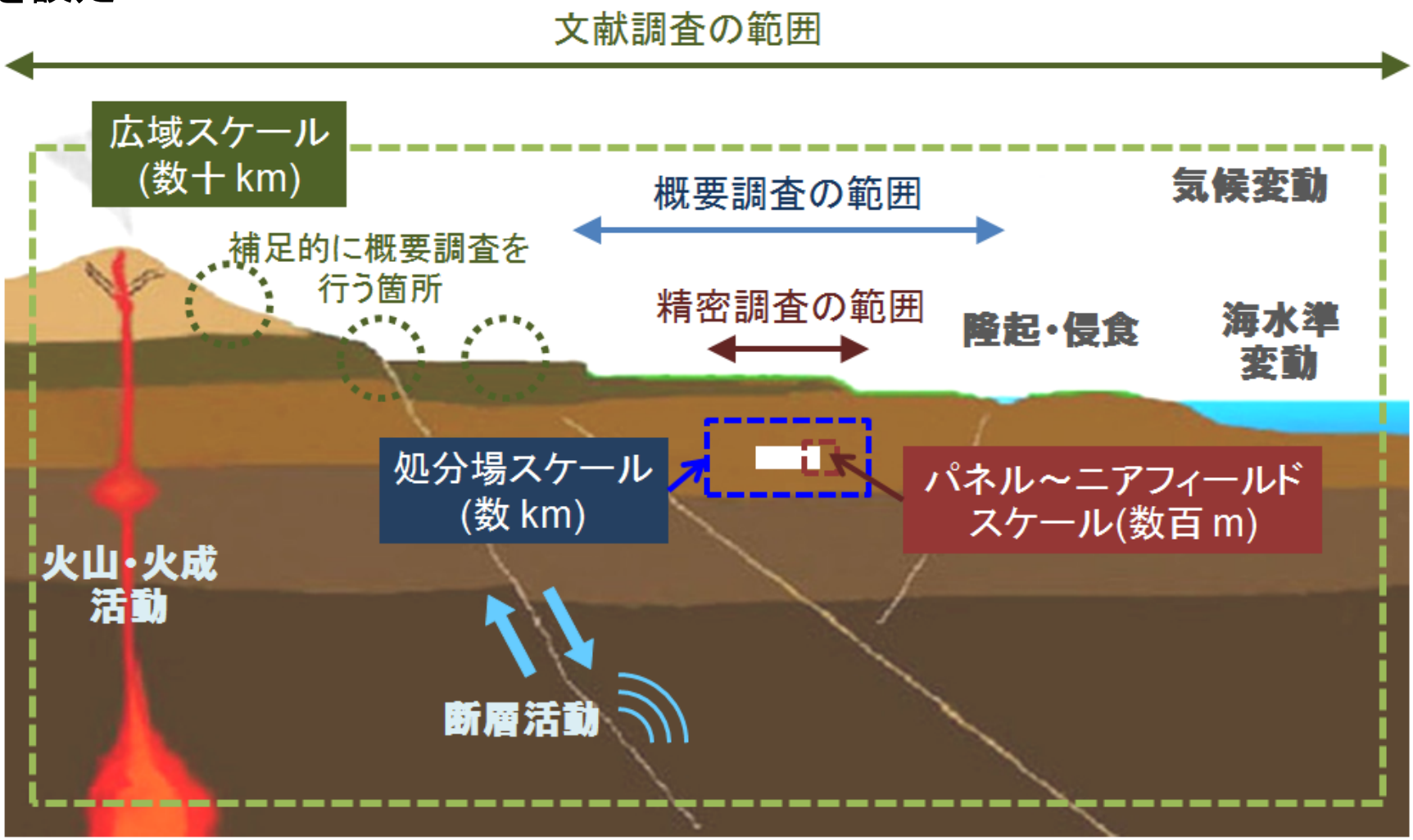
- 処分場とその近傍の領域が火山活動や著しい侵食などの自然現象の影響から回避される場所，また経済的価値のある鉱物資源がない場所を選定

（閉じ込め機能の確保）

- THMCの観点から好ましい地質環境特性であることを，外的な擾乱による長期的な変化の可能性も含めて調査により把握し，地質環境モデルとして統合
- 地質環境モデルに対して，多重バリアシステムとして安全機能を有するように処分場の設計を行い，安全評価によって確認。また，必要に応じて，処分場の設計にフィードバック
- 閉鎖前，閉鎖後とも安全性を確保できると判断されれば，当該サイトを選定

安全戦略 －サイト選定戦略(2/4)－ 空間スケールの設定

- 地質調査で得られる情報の詳細度と，設計や安全評価の対象となる空間的な大きさを考慮して，段階的な調査と対応した以下の空間スケールの地質環境モデルを設定



安全戦略 －サイト選定戦略(3/4)－

今回のNUMOセーフティケースでは，

- 最新の科学的知見や技術開発成果に基づき，サイト選定における判断の基本的な考え方や調査・評価技術を体系的に整備
- 段階的に取得する地質環境情報を，処分場の設計および安全評価の基盤となる候補母岩の地質環境モデルとして解釈・統合する技術を整備
- 文献調査段階への準備として，わが国の全国規模での地質環境に関する最新の文献情報などをもとに，存在比の大きな代表的な候補母岩を類型化し，断層の存在など，わが国の現実的な地質環境の特徴の反映に留意しながら，サイト選定で想定される地下深部の地質環境のモデルを提示
- これら実際の地質環境情報の分析に基づく代表的な候補母岩のモデルに対して，設計と安全評価のケーススタディを実施することで，安全な地層処分の実現性を提示

安全戦略 －サイト選定戦略(4/4)－ 候補母岩の設定

時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
地表分布比(%)	11	33	10	16	7
-500m分布比(%)	15	35	15	20	5
-1000m分布比(%)	10	45	10	25	10
水みち構造	粒子間隙 割れ目	割れ目 層理面 粒子間隙	割れ目 粒子間隙	割れ目 岩脈	割れ目 片理面
透水係数(m/s)	3×10^{-7}	5×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-8}	9×10^{-7}
有効間隙率(%)	25～26	4～8	5～8	0.8～2	1～7
熱伝導率(W/mK)	1.7～1.8	1.4～1.5	2.4～2.5	2.8～2.9	3.3
一軸圧縮強度(MPa)	9～28	90～100	95～106	109～111	111
岩盤の変形性	大	小	小	小	小
化学的緩衝能	大	大	小	小	小

特性が類似

特性が類似

3つの代表的な岩種を対象に一連の検討を実施し，わが国における地層処分の実現性の見通しを提示

安全戦略　–設計戦略–

① 処分場の設計

- 多様なサイト条件や社会的な環境変化などに対して柔軟に対応し，安全な処分場を成立させるための設計技術（体系的な設計の方法論や設計オプションなど）を準備
- 「第２次取りまとめ」「第2次TRUレポート」で提示された処分概念を出発点として，異なる候補母岩のモデルを対象に，閉鎖前と閉鎖後長期の安全性，および建設・操業・閉鎖の工学的実現性を充足する処分場の設計の仕様を具体的に提示
- この際，断層の存在など，サイト調査において現実的に遭遇する地質環境への設計上の対応や，処分概念の違いによる得失などを考慮できる，実用性のある設計の方法論を適用
- 以上を通じて，多様な地質環境に対して，所要の安全機能を有する処分場の設計が可能であることを明示

② 処分場の建設・操業・閉鎖

- 処分場の設計で示される仕様が，現時点あるいは近い将来に到達可能な技術を用いて，工学的に実現可能であることを提示

安全戦略 －安全評価戦略（1/2）－

① 閉鎖前の安全評価

- 関連施設の安全規制等を参考に，操業工程における周辺公衆および作業者に対する放射線安全を評価。一般労働安全の対策を行うための考え方と方法を準備
- 閉鎖後長期の安全性と両立させながら，現段階で設計される処分施設の仕様に対し，閉鎖前の安全評価の結果を示し，安全性を確保できることの見通しを提示

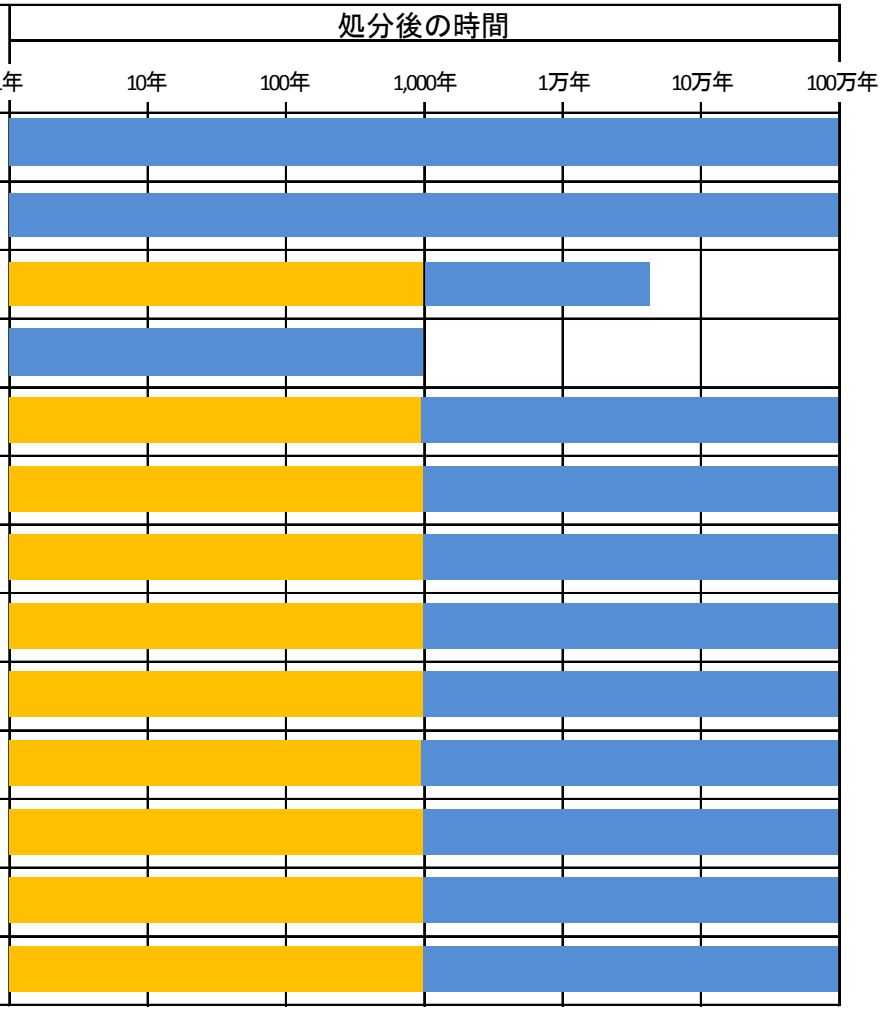
② 閉鎖後長期の安全性の評価

- 国際的な指針や諸外国における安全規制等を参考に，事象の発生可能性に応じたリスク論的な考え方を導入し，線量評価期間や線量基準などを仮設定
- シナリオ構築からモデル・データ設定までの一連の安全評価の方法論を整備。この際，地質環境条件の違いや処分場の仕様の違いを反映し，異なる処分場の性能を合理的に比較・評価できる安全評価解析の手法を導入
- 仮設定した安全評価の枠組みに沿って，わが国で想定される地下深部の地質環境と処分場の仕様に対して，閉鎖後長期の安全評価を実施
- ニアフィールドスケールに力点をおいた保守的な評価を実施
- 多様な地質環境に対し，安全評価を実施するための科学技術的基盤が整っていること，安全性を確保できる見通しがあることを提示

安全戦略 －安全評価戦略(2/2)－ 時間スケールの設定

● 各バリアに期待する安全機能の時間スケールを次のように設定

基本概念	安全機能		構成要素
隔離	地質の長期的な変動からの防護		地質媒体
隔離	人の接近の抑制		地質媒体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の浸出抑制	ガラスマトリクスによる浸出抑制	廃棄体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の浸出抑制	発熱が著しい期間の地下水接触の防止	オーバーパック
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	放射性物質の溶解度制限	地質媒体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	放射性物質の溶解度制限	人工バリア
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	移流による移行の抑制	緩衝材
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	コロイド移行の防止・抑制	緩衝材
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	収着による放射性物質の移行遅延	緩衝材
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	収着による放射性物質の移行遅延	地質媒体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	遅い地下水流動	地質媒体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	分散による移行率の低減	地質媒体
閉鎖後閉じ込め	放射性物質の移行抑制	アクセス坑道及びその周辺が卓越した移行経路となることの抑制	プラグ・埋め戻し材等

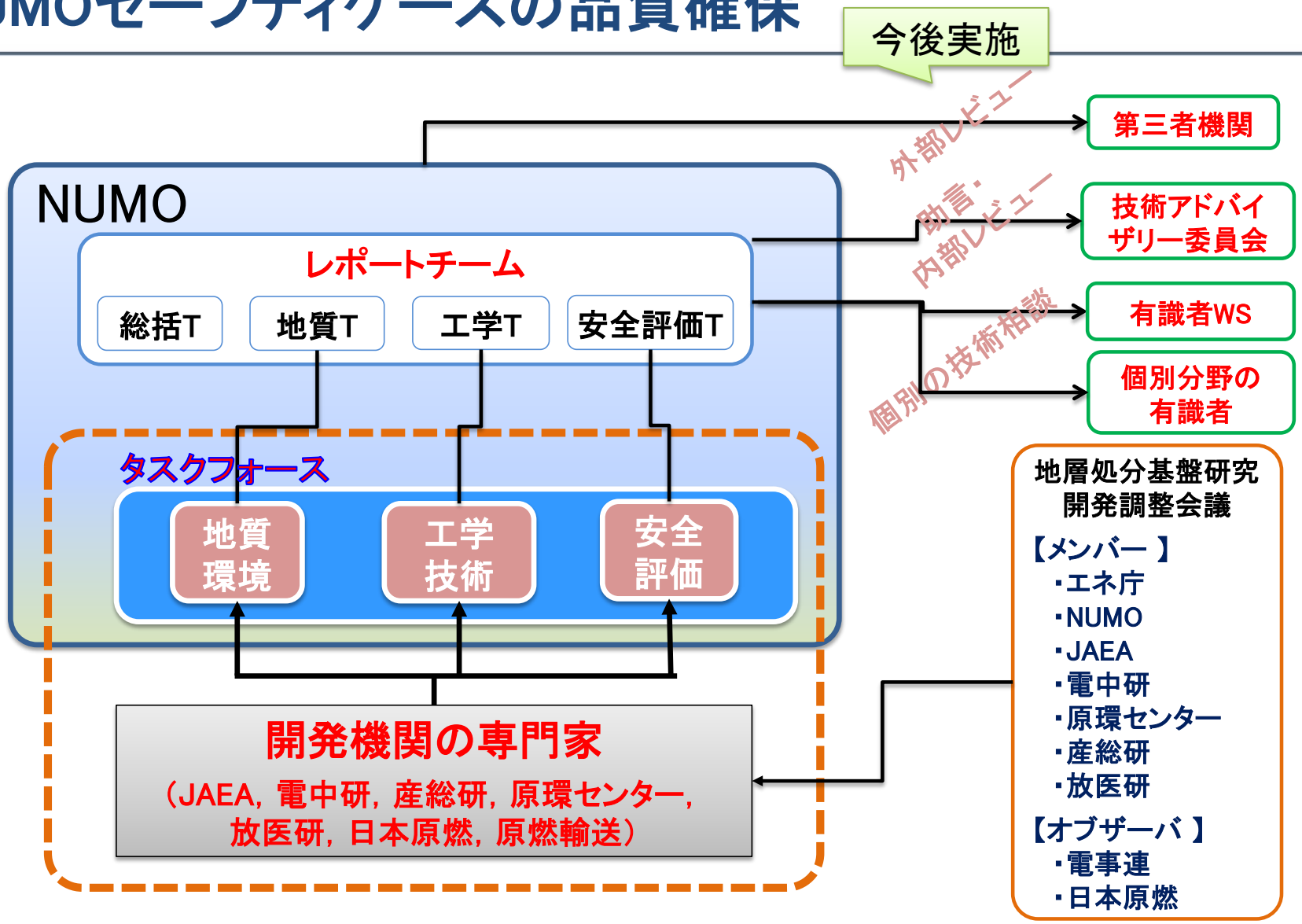


：潜在的機能（バックアップ）　　：主たる安全機能

安全戦略 －マネジメント戦略－

- セーフティケース作成の基本戦略
  - 安全性を最優先しつつ経済性などを考慮，社会環境条件の変化への柔軟性確保
  - サイト調査・評価，設計，安全評価の密な連携
  - 定期的なセーフティケースの再評価と更新　など
- 品質マネジメント
  - QMSの構築・運用，各分野の品質管理手引書整備
  - 人工バリア製作・施工プロセス管理，解析コード・データ・モデルの品質保証
  - 専門家レビュー，品質が保証された知見の導入　など
- 要件マネジメント
  - 要件を明確にした意思決定と業務展開，RMSの構築・運用　など
- 知識・情報マネジメント
  - 透明性・追跡性・取出し容易性を確保した管理システムの整備　など
- 技術開発のマネジメント
  - 定期的なセーフティケースの取りまとめと技術開発計画への反映　など
- 人的資源に関するマネジメント
  - 海外実施主体や基盤研究開発機関との共同研究，セーフティケースの定期的な取りまとめによる人材育成，技術・知見の継承　など

NUMOセーフティケースの品質確保



関係機関の専門家との議論を通じた最新知見・情報の導入，国内外の有識者の助言や内部レビューを得ながら，報告書の品質を確保

今後の予定

- NUMOセーフティケース（レビュー版）の取りまとめ・公表：2016年11月頃
- 国内・国外の第三者機関による外部レビュー：2017年