

地層処分の技術マネジメントについて (案)

本資料については、事前に外部有識者に情報提供し、
ご意見をいただいた上で、取りまとめた。

2018年3月

原子力発電環境整備機構(NUMO)

最終処分関係閣僚会議で示された今後の取組

科学的特性マップの位置付けと提示後の取組②

<現状・課題>

地域対応・国民理解

- これまでは、全国一律の一般的説明
- 受入地域への支援など社会的側面の議論はこれから
- 使用済燃料対策の重要性、関心の高まり

地域特性を踏まえた重点的活動

- 原子力発電環境整備機構（NUMO）は、地域特性を踏まえ、「グリーン沿岸部」を中心とした重点的な対話活動にきめ細かく取り組む。発生者としての基本的責任を有する事業者は、NUMOの活動を全力で支えつつ、自らも主体的に取り組む。

地域の検討を社会全体で支える環境づくり

- 国は、大都市部を含めた全国的な対話活動、自治体への緊密な情報提供や地域支援のあり方に関する検討などに取り組む、地域における検討が着実に進められる環境を整える。

使用済燃料対策強化との一体的な取り組み

- 最終処分対策とともに使用済燃料の貯蔵対策についての対話活動を一体的に進め、バックエンド全体の柔軟性確保に向けて国民理解・地域理解を得ていく。

研究開発

- 日本原子力研究開発機構（JAEA）に長年の蓄積
- NUMOの役割がより重要に

研究開発の推進と体制強化

- NUMOとJAEA等の関係研究機関との連携強化やこれまでの研究開発成果の継承等を図り、事業実施に必要な技術マネジメント能力の向上や現場経験を通じた人材育成などを促進する。

国際協力

- 各国とも相互に学びながら取組
- 日本の取組には世界も関心

各国共通課題の解決に向けた国際的な連携、貢献

- 各国から学ぶとともに、我が国の技術や経験を国際社会に積極的に提供するなど、国際的な連携を強化し、日本の取組を通じて世界にも貢献していく。

全体計画における位置づけ

研究開発項目（案）

1. 地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化
 - (1) 自然現象の影響
 - (2) 地質環境の特性
2. 処分場の設計と工学技術
 - (1) 人工バリア
 - (2) 地上・地下施設
 - (3) 回収可能性
 - (4) 閉鎖前の安全性評価
3. 閉鎖後長期の安全性の評価
 - (1) シナリオ構築
 - (2) 核種移行解析モデル開発
 - (3) 核種移行解析に用いるパラメータ等に関するデータの整備
4. 中長期的に研究開発を進める上での重要事項



地層処分技術の特徴と研究開発に求められるもの

□地層処分技術の特徴

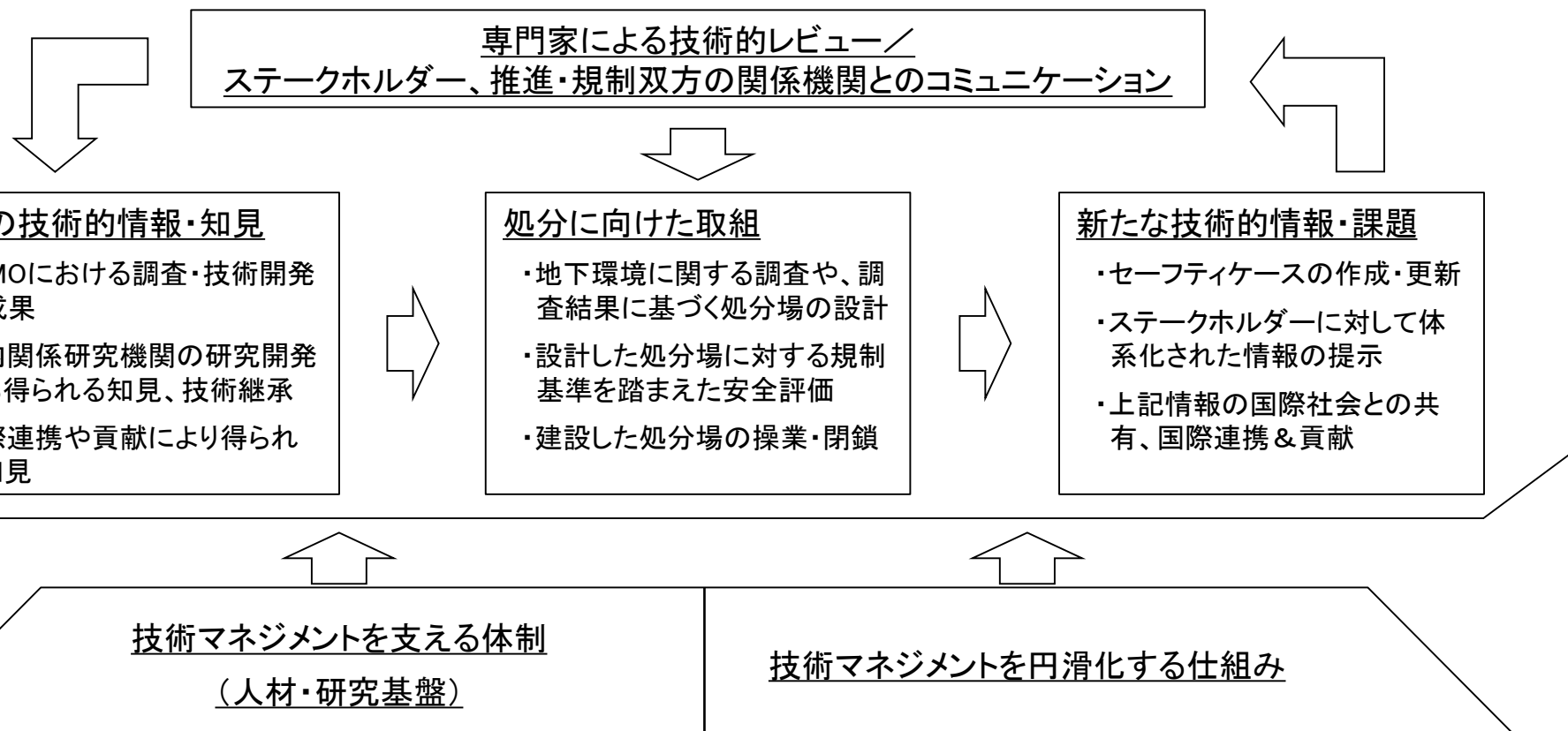
- ① 事業の長期性
 - － サイト選定から閉鎖に至るまで100年以上かかり、段階的に必要な技術が変容
- ② 閉鎖後数万年以上といった時間軸を考慮
 - － 事業の進展に伴って質的・量的に変化するサイトの地質環境情報やそれらを基に行う安全評価の結果等を論拠として地層処分技術の安全性を確認するセーフティケースを作成することが有効
- ③ 多岐に渡る分野の技術・知見の統合
 - － 地質環境調査技術、工学設計技術、安全評価技術等の様々な分野の技術・知見を統合することが必要

□研究開発に求められるもの

- ① 事業の長期性を考慮した研究開発戦略
 - － 科学技術の進歩、社会的要件（政策（法律など）、安全規制、様々なステークホルダーの要求など）の変化に対応することが必要
 - － 個々の現象が有する長期の不確実性を明らかにするための調査・評価技術については、段階に応じた研究開発の目的と目標を明確にして取り組むことが必要
- ② 長期の安全性を示すセーフティケースの信頼性向上
 - － セーフティケースの論拠として用いるデータや情報の信頼性を確保する仕組みやプロセスが必要
- ③ 吸収すべき技術・知見を見極め、多岐にわたる分野の技術・知見を統合する能力の維持・確保
 - － 処分事業全体を見通し、必要な最新技術・知見を見極めて廃棄物処分に関連する様々な機関からも幅広く吸収するとともに、多岐に渡る分野の技術を統合し事業を進める能力が必要

技術マネジメントの全体像

- 地層処分事業は、国内外の技術的情報・知見を活用して処分に向けて取り組み、得られる新たな技術的情報・知見に基づき、推進・規制双方の視点で外部からのフィードバックを得て進められる。
- 技術マネジメントは、こうした一連のループを繰り返すことにより、技術を改善することで安全性を不斷に高めることを指す。
- 技術マネジメントは、一連のプロセスを可能とする体制（人材・研究基盤）と、それを円滑化する仕組みによって支えられる。



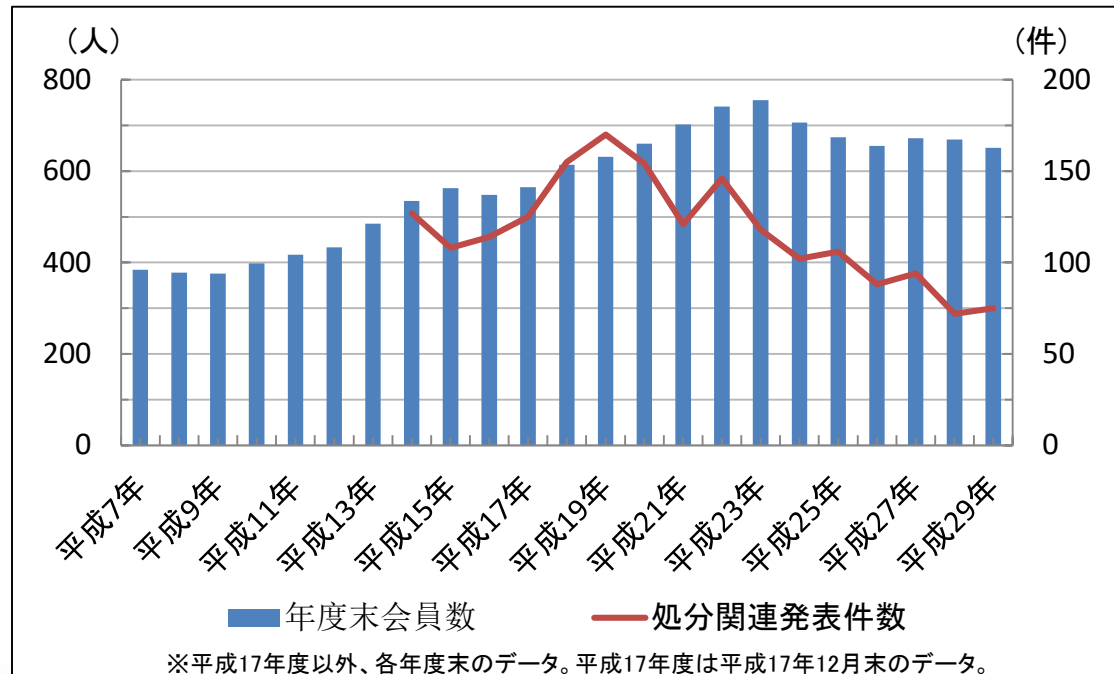


1. 技術マネジメントを支える体制
2. 技術マネジメントを円滑化する仕組み

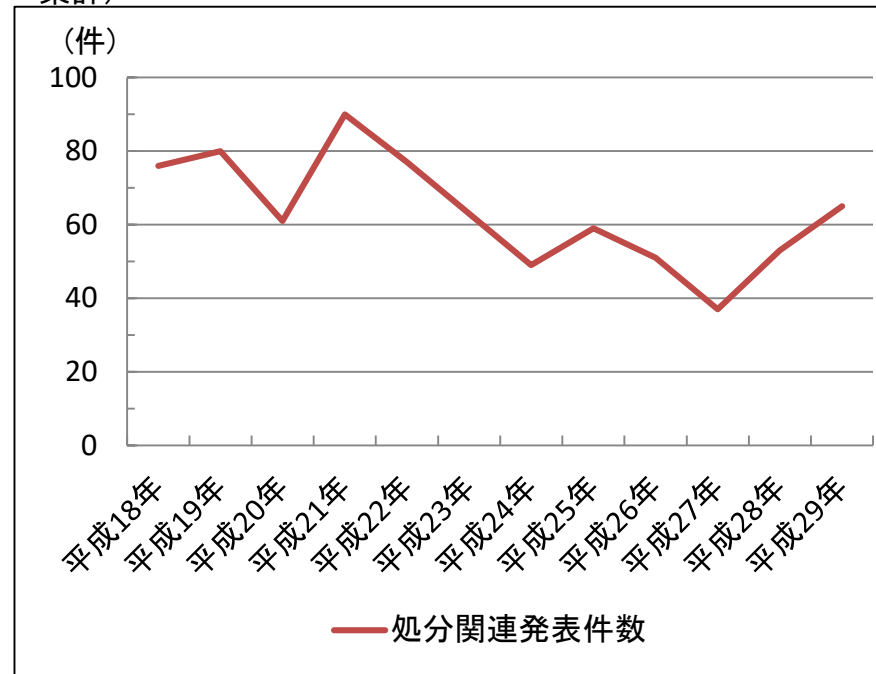
地層処分分野における技術開発の活性度

- NUMOが設立された平成12年頃からバックエンド(BE)部会員は増加。放射性廃棄物処分が順調に進展するとの期待感から処分分野が活性化したものと推察。
- 3.11以降、人材の確保・育成は原子力全体の課題。ただ、BE部会員は1割程度の減少にとどまっておき現在のところ全体の技術者数は概ね維持。
- ただし、原子力学会BE部会では平成20年前後から比べて最近では発表件数が半減。また、土木学会における放射性廃棄物処分に関する発表件数も平成20年前後から比べて最近では減少しており、技術開発の活性度の低下が懸念。

日本原子力学会BE部会会員数と処分関連発表件数
(日本原子力学会よりデータ提供)

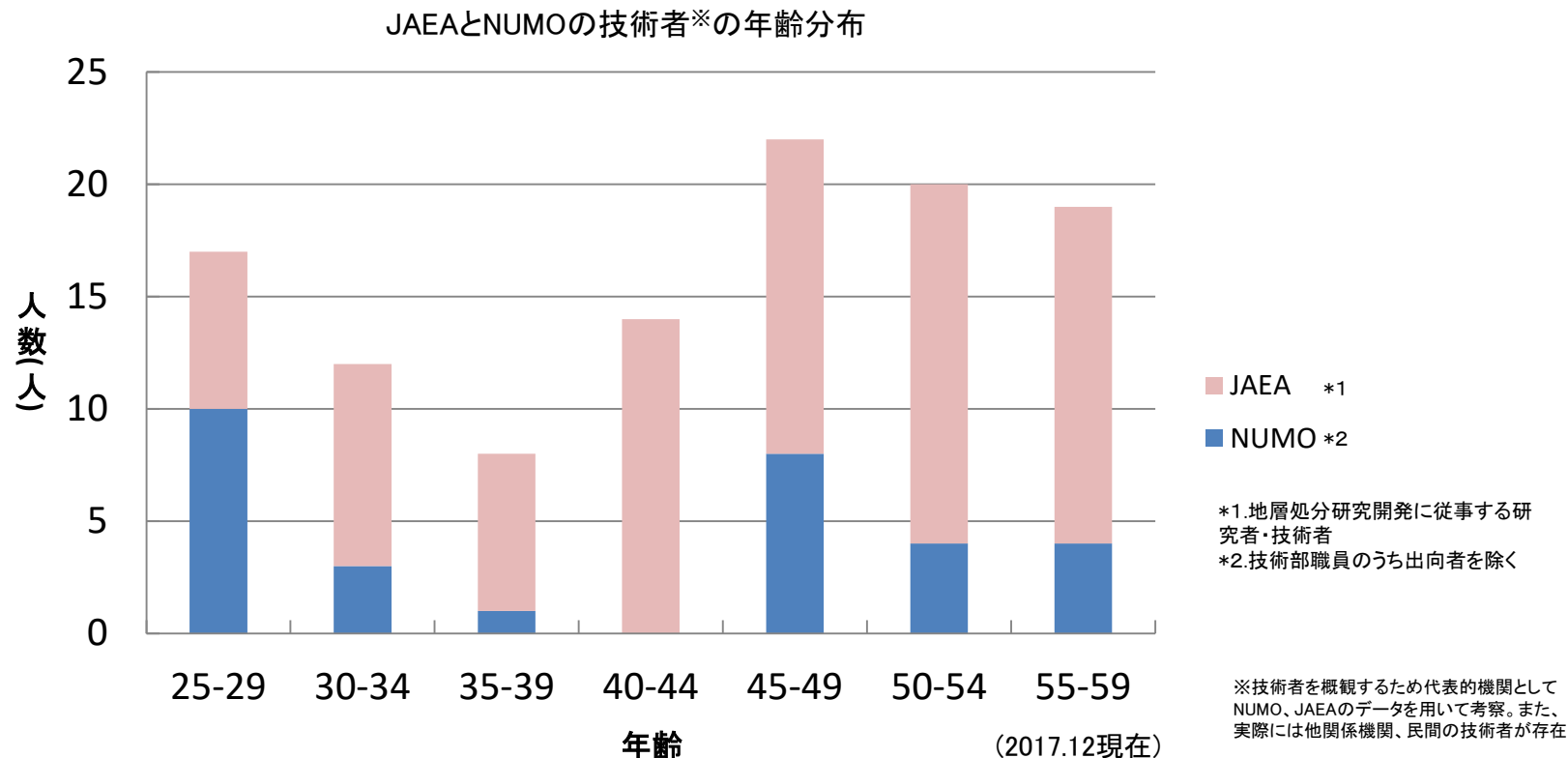


土木学会における「放射性廃棄物の処分」セッションの発表件数
(土木学会の全国大会における年次学術講演会プログラムより集計)



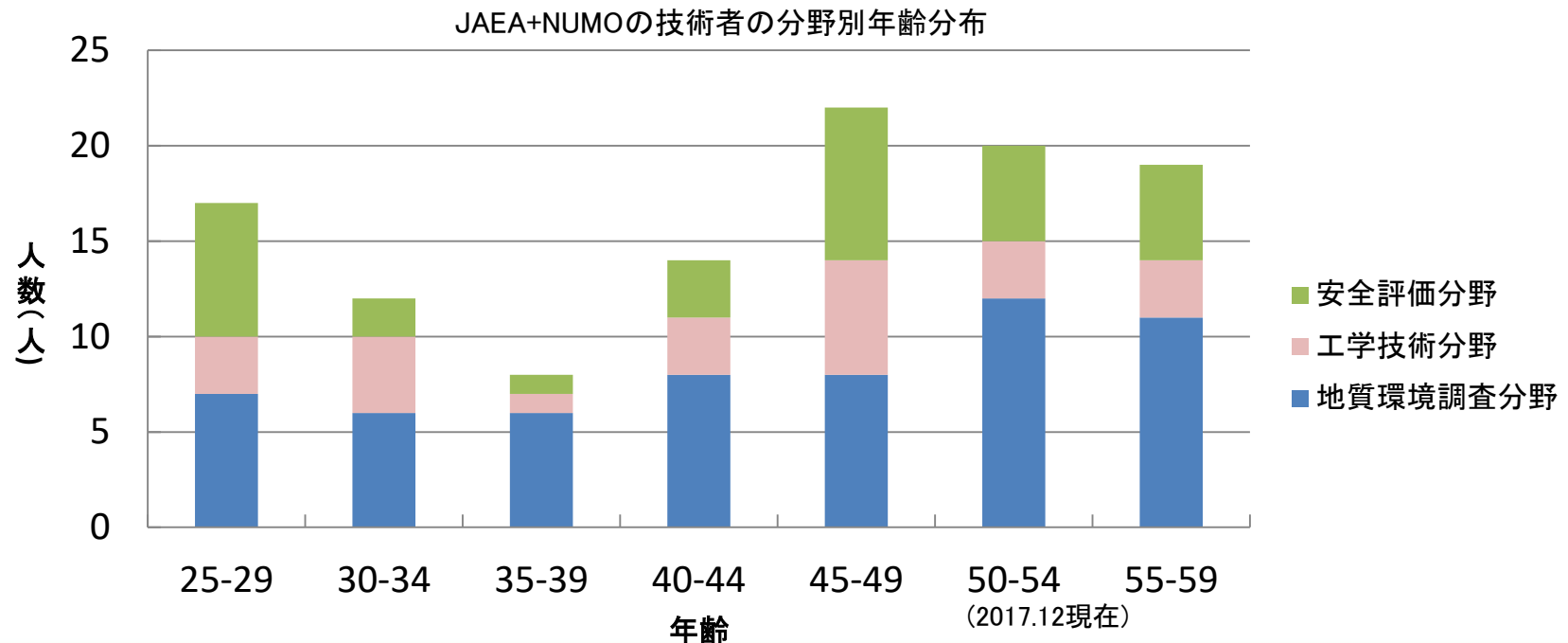
地層処分技術者の年齢分布

- JAEAとNUMO技術者の年齢構成は30才前後を中心とした新卒若手と50歳前後を中心としたベテラン経験者に二極化。
- NUMOは独自のインフラ設備をもたないため、若手の現場実践経験の機会はほとんどない。
- 今後10年程度の近い将来に、技術者の大幅な減少が懸念。
- NUMOのベテランは土木工事等の様々な現場経験を有しているが、近い将来のベテラン技術者の減少によりNUMO内における現場作業に関するノウハウの維持が困難。



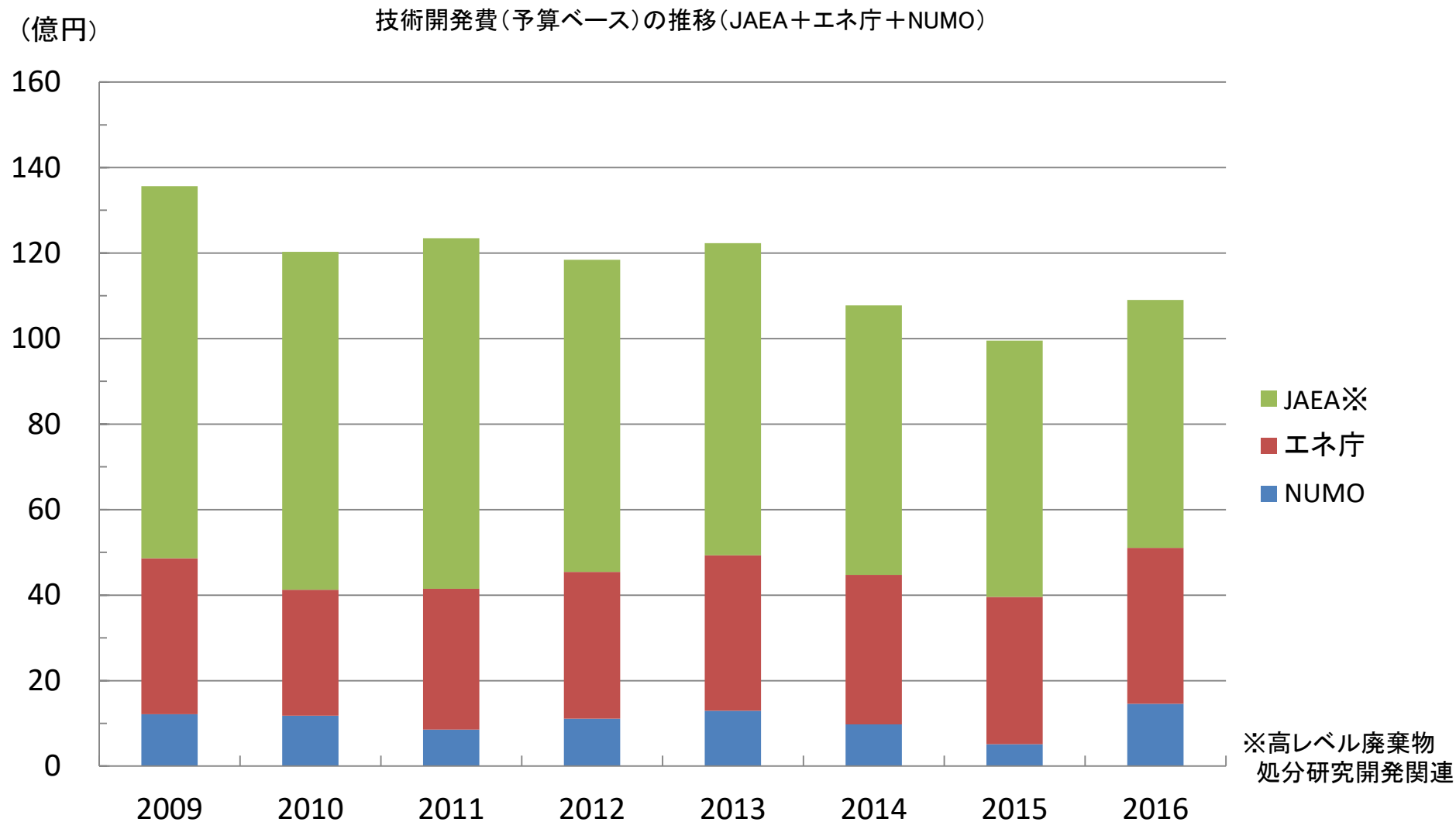
地層処分技術者の技術分野

- JAEA及びNUMO技術者の分野別割合は、地質環境調査分野が約5割、工学技術分野では約2割、安全評価分野では約3割。
- 今後の事業の各段階において必要となる主な人材は以下。
 - － 調査段階：地質環境調査技術を有する人材。並行して実施していく包括的技術報告書の更新や処分場設計の具体化においては、そのベースとなる工学技術/安全評価の知識と設計実務の経験を有する人材が一定数以上
 - － 安全審査段階：地質環境調査分野、工学技術分野、安全評価分野の人材
 - － 建設・操業段階：工学技術の知識と経験を有する人材。特に、現場管理と運営の経験を有する人材が必要
- 将来の事業進展を考慮したうえで必要となる技術分野の計画的な人材確保が必要。



地層処分分野の技術開発費

- 地層処分分野の技術開発費は低減しており、処分分野の研究者・技術者の技術開発活動が低下しているおそれ。



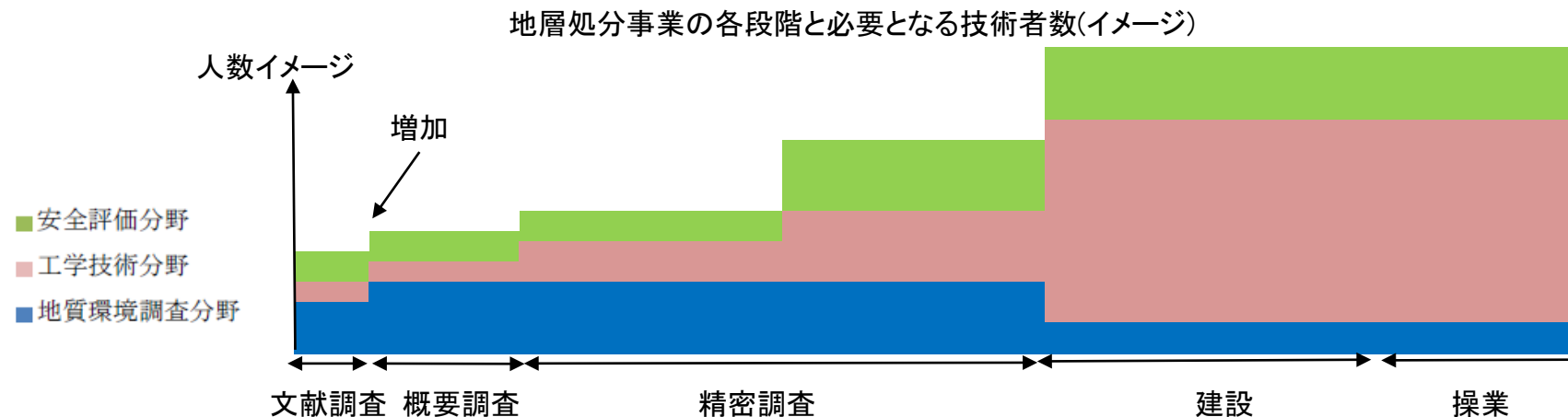
事業の進展に応じたNUMO技術者の確保

人材の確保①

○ 将来の事業進展を考慮したうえで、必要となる技術分野の計画的な人材確保が必要。

（現在の取り組み）

○ 事業の各段階で必要な専門性の変化や急激な人数の変動が予想される。



（今後の取り組み）

- 事業の各段階において、NUMOが必要とする人材を明示。
- NUMOが人材確保に急を要する場合に、関係機関から人的支援等で協力。

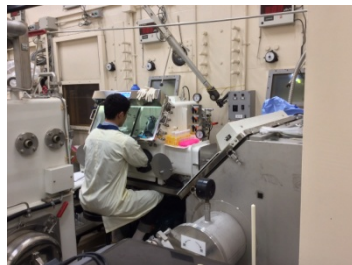
地層処分分野の若手技術者の確保

人材の確保②

- 若手技術者が活躍できるイメージを持てる材料を提供すること等により、地層処分分野の認知度を高め、若手技術者の新規確保をはかることが必要。

（現在の取り組み）

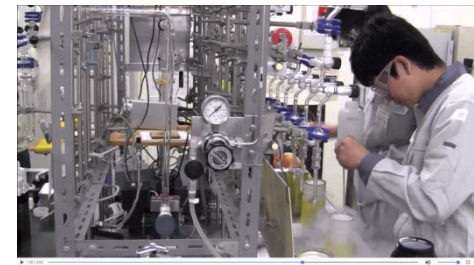
- 大学との共同研究を実施。
- 大学への講師派遣や、学会でのセミナーを実施。
- 研究基盤を持つJAEAでは、夏期実習等で学生を短期的に受け入れ。



大学での地層処分研究



女子中学生夏の学校
2016



夏期休暇実習生の受入
(JAEA)^注

（今後の取り組み）

- NUMOを中心として、産学での共同研究を幅広い分野で積極的に実施。
- 関係研究機関の研究現場における学生インターンなどの短期受け入れを拡充。

注) JAEAホームページ 夏期休暇実習生動画ライブラリ「地質学試料の化学分析及び放射年代測定」より転載
(http://nutec.jaea.go.jp/univercitycoop/university_videolibrary.html#movie4)

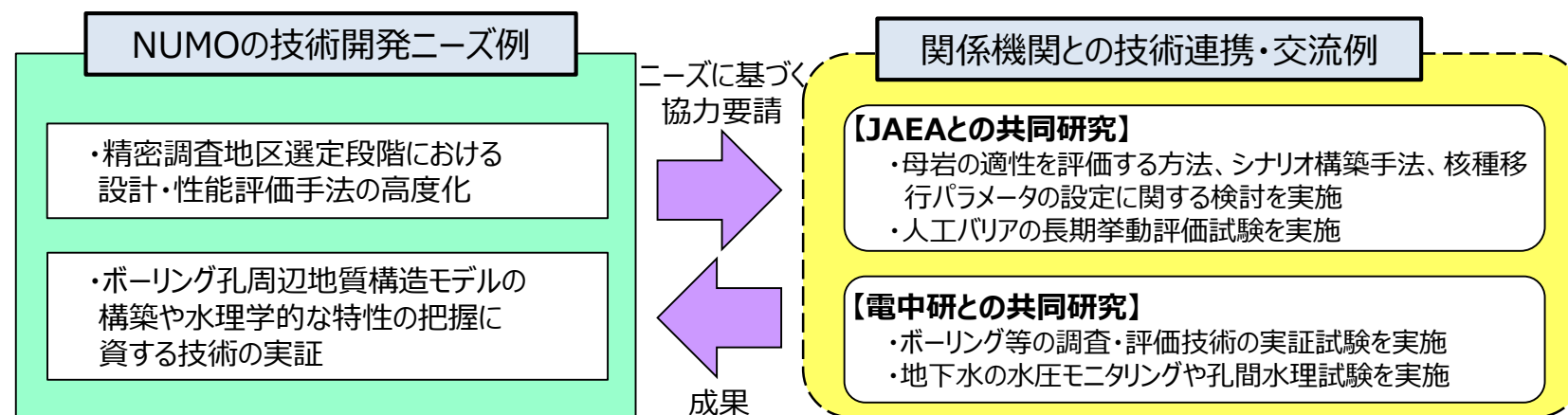
国内外の関係機関からNUMOへの技術継承

人材の育成①

- 各機関のベテラン層に蓄積されている知見・経験を（特にNUMOの）若手に継承していくことが必要。

（現在の取り組み）

- NUMOによる国内外の関係機関との技術連携・交流で、実施主体の協力要請に対して、相手から成果を提供してもらう形式が主。



（今後の取り組み）

- 成果の提供のみならず、NUMOと関係機関間での派遣等の人事交流を積極化。

若手技術者の現場経験を積む機会の創設

人材の育成②・基盤整備

- 多岐にわたる技術を統合する能力を向上するため、（特にNUMOの）若手が様々な技術の活用される現場経験を積める環境が必要。

（現在の取り組み）

- NUMOと国内外の関係機関との共同研究等で、若手を長期的に現場へ派遣。
- IAEA等の国際機関が主催する研究現場でのトレーニングコースに参加。



カナダ国立研究機関(NRC)コールド
スプレー研究室にて



電中研との共同研究（ボーリング
等の調査・評価技術の実証試験）



グリムゼル原位置試験場における
Summer School 2017

（今後の取り組み）

- 国内外の関係機関で連携して、現場経験をもとに技術力の継承・発展を図る仕組みを整備。
- こうした現場経験を積める研究基盤を長期にわたり確保し、若手人材を継続的に育成。
（例えば、国内の関係研究機関の活用はもとより、国内外での共同研究・プロジェクト、国際機関主催の研修等への参加を拡大）



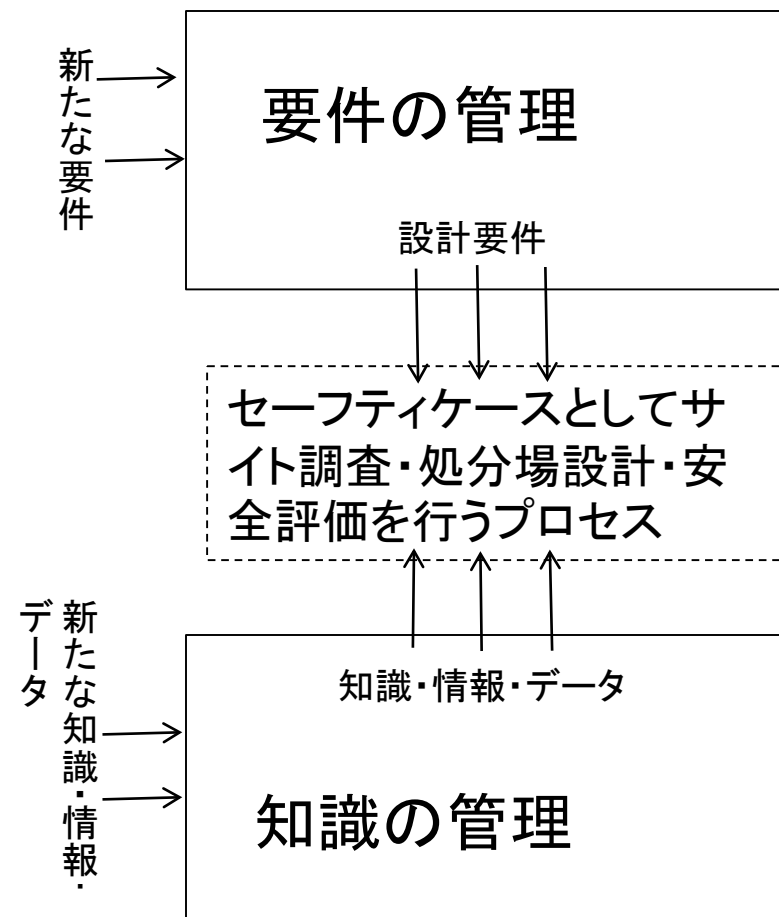
1.技術マネジメントを支える体制

2.技術マネジメントを円滑化する仕組み

- ・上位の要求事項から具体的設計までの連関や多岐にわたる膨大な知識データは体系的に整理されていない
- ・NUMOにおける最新のデータ等は技術分野毎に独自のデータベースを用いており、分野間の相互活用が十分でない
- ・NUMO及び関係研究機関では、組織間の効果的な情報共有ができていない
- ・データの品質管理/品質保証は各機関が独自の方法で行っている

(NUMOにおける仕組みづくりの詳細については参考資料2参照)

- ・設計要件を階層的に整理
- ・国内外の知識・情報等を階層化し、
分類して、体系的に整理
→透明性・追跡性・取出しの
容易性を確保
- ・品質レベルを確保するため、要素技
術・技量・プロセスを継続的に改善
- ・先端的なITの活用



要件を管理する仕組み、知識を管理する仕組みの構築・整備とデータの品質確保を駆使することによるセーフティケースの作成
(→ 品質の確保されたデータの流れ)

まとめ

- 地層処分分野の技術マネジメント能力を高めるためには、事業の長期性、安全性を考慮すべき時間軸、関係する技術分野の多様性を踏まえて、技術マネジメントを支える体制とそれを円滑化する仕組みを整備することが必要。
- 体制整備にあたっては、事業の進展に応じ必要な人材を明らかにする。その上で、若手技術者を継続的に確保及び育成するとともに、適宜関係機関からの人的支援等により技術の継承を図る。技術継承をより効果的に行うために研究基盤を長期にわたり確保することが必要である。
- 事業の各段階において取り組む目標を明確に定め、多岐にわたる技術を統合し推進していくプロジェクトマネジメント力及びプロジェクトを効果的に進めるために現場実践力が必要である。
- 国内外の知見や研究成果を適宜更新しながら、それらを統合的に活用し、セーフティケースを策定するプロセスを効果的かつ効率的に実行するためには、上位の要求事項から具体的設計までの連関や多岐にわたる膨大な知識データを階層化と分類により分かり易く整理したデータベースを準備しておくことが重要である。
- 人材の確保と育成、セーフティケースの質的向上、それを用いた様々なステークホルダーとのコミュニケーションを効果的に進めるためには、国内外の関係機関と密に連携することが必要である。技術的成果や経験を相互に共有することを通じ、国内外における廃棄物処分技術の安全性向上と理解促進に継続的に貢献していく。

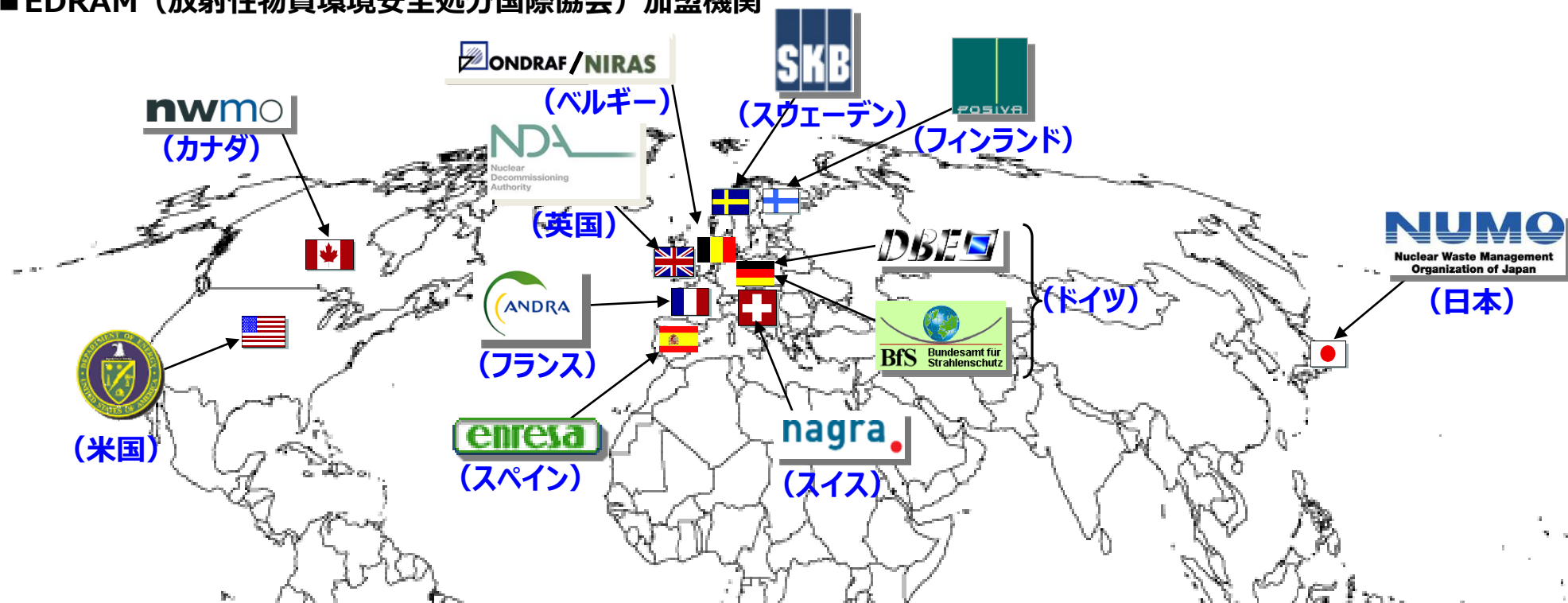


参考資料1

NUMOと国内外の関係機関との技術連携

協力協定

■EDRAM（放射性物質環境安全処分国際協会）加盟機関

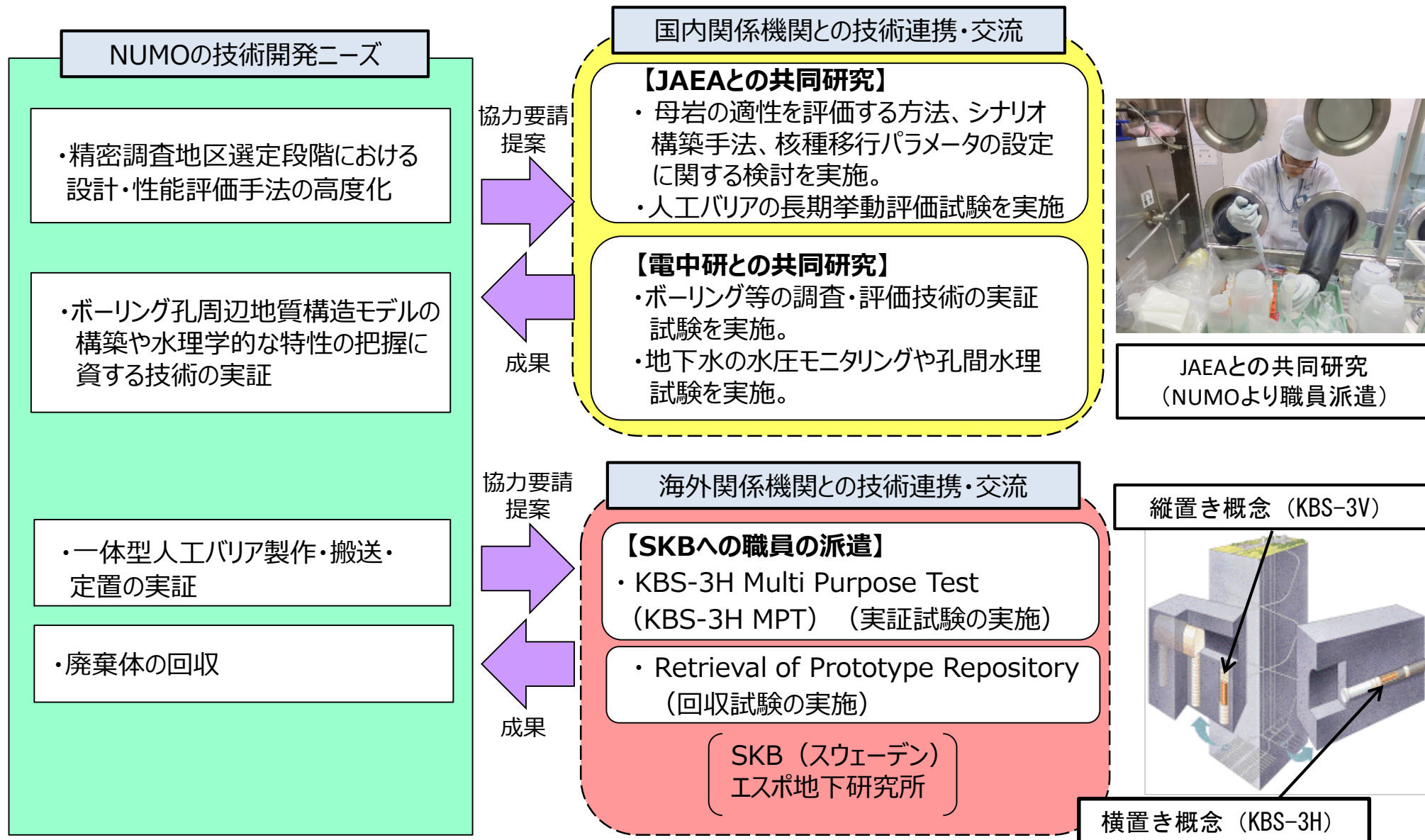


■協力協定（或いは覚書）を締結している海外実施主体等

フィンランドポシバ社 (POSIVA) 【2001年5月29日】	スイス放射性廃棄物管理協同組合 (Nagra) 【2001年6月5日】	スウェーデン核燃料・廃棄物 管理会社(SKB) 【2001年9月17日】	フランス放射性廃棄物管理機構 (ANDRA) 【2001年12月18日】	米国エネルギー省 (DOE) 【2002年7月10日】
--	---	--	--	-----------------------------------

英国原子力廃止措置機関 (NDA) 【2004年6月24日】	韓国原子力環境公団 (KORAD) 【2012年4月19日】	台湾電力公司 【2013年11月27日】	ドイツ廃棄物処分施設建設・ 運転会社 (DBE) 【2016年12月16日】	カナダ放射性廃棄物管理機関 (NWMO) 【2017年6月22日】
--------------------------------------	--------------------------------------	-------------------------	---	---

交流の事例



共同研究の例（1／3）

機関(国、場所)など		概要	開始年
日本原子力研究開発機構 (茨城県東海村)	共同研究(ガラス固化体の長期溶解挙動試験、ニアフィールドシステムに対する長期挙動試験、核種移行データ収集) ＜NUMO職員の派遣:研究の進捗状況に応じて＞	・母岩の適性を評価する方法、シナリオ構築手法、核種移行パラメータの設定に関する検討を実施 ・人工バリアの長期挙動評価試験を実施	2015年度～
電力中央研究所	共同研究(概要調査に向けた地質環境調査・評価技術の体系化および高度化) ＜NUMO職員の長期派遣:ボーリング調査実施時＞	・ボーリング等の調査・評価技術の実証試験を実施 ・地下水の水圧モニタリングや孔間水理試験を実施	2006年度～
国内大学 (東京大学、京都大学)	共同研究(還元環境下での収着分配係数)	・ウランの収着への炭酸の影響の理解、および収着分配係数の評価に必要な信頼性の高い収着試験手法の構築	2017年度～
NWMO(核燃料廃棄物管理機関) (カナダ)	共同研究(銅コーティングOP)	・銅コーティング技術の実用化の技術開発 ・NUMOによるガラス固化体用銅オーバーパックの試設計とその技術レビュー	2017年度～
LBNL(ローレンスバークレー国立研究所) (アメリカ)	共同研究(断層の水理／力学的挙動)	・断層、断層破砕帯、およびその周辺において水理・力学的変化が生じる要因および理論の収集・整理 ・力学-水理連成数値解析手法の構築 ・実際の地質環境を対象に、力学-水理連成解析手法の適用性確認および調査・評価技術の構築	2016年度～
Nagra(放射性廃棄物管理共同組合) (スイス)	共同研究(地下水調査手法整備) ＜NUMO職員の長期派遣:2017/9/25～12/15＞	・6カ国のサイト調査に係るQMSの事例の収集・整理 ・文献調査に向けた、地質環境データの品質保証の考え方や品質評価の進め方および評価基準を策定 ・ボーリング調査における泥水の選定や水理試験、採水調査などの品質管理・保証に係るノウハウをNagraより導入 ・概要調査に向けた、品質保証の考え方を策定するとともに、運用するための技術やノウハウをNagraより導入	2016年度～

共同研究の例（2／3）

機関(国、場所)など	概要		開始年
グリムゼル試験サイト(Nagra)における国際共同プロジェクト(スイス)	CFM(コロイド生成・核種移行試験) (Colloid Formation and Migration)	地下研究施設での透水性亀裂を利用した試験を実施・地下水中のコロイドの移行挙動に関するデータの取得。 ・ベントナイトと地下水の接触によるコロイド生成挙動に関するデータの取得 ・核種およびコロイドの移行挙動解析モデルの構築、検証	2016年度～
	LTD(長期拡散試験) (Long-Term Diffusion)	地下研究施設を利用し、試験孔に放射性核種(トレーサ溶液)を注入し所定の期間後ボーリングで採取する試験を実施。 ・マトリクス拡散に関するデータの取得、モデル化	2016年度～
	MaCoTe(金属材料腐食試験) (Material Corrosion Test)	地下研究施設を利用し、試験孔にベントナイトに試験片を埋め込んだモジュールを埋設、地下水を注入して所定の期間後取りだす試験を実施。 ・腐食量の測定、腐食生成物の分析、微生物の分析などを実施	2016年度～
	HotBENT(ベントナイト熱変質試験)	高温条件が緩衝材に与える影響を明らかにするため、150℃程度の温度を長期間与える実物スケールの緩衝材熱負荷試験を実施する計画。	2017年度～
	LCS(長期セメント試験) (Long-term Cement Study)	地下研究施設を利用し、地層処分環境を模擬した条件での試験を実施。 ・セメント系材料と母岩との長期間の相互作用メカニズムの検討、その影響による地下水の変化に関するデータ(流速変化、水質変化、二次鉱物等)の取得、水理解析や水質変化のモデル化および二次鉱物などの熱力学データの整備	2016年度 (同年度終了)
	CIM(長期変質セメント中の移行挙動試験) (Carbon-14 and Iodine Migration in Cement)	地下研究施設において10年以上花崗岩中に定置埋設された普通ポルトランドセメント中における炭素、ヨウ素等の移行挙動について実測データの取得・評価することで、セメント系材料の長期変質やセメント系材料中核種移行挙動に関する情報収集および評価手法の検討を実施。	2017年度～
エスポ岩盤研究所(SKB)における国際共同研究タスクフォース(スウェーデン)	KBS-3H MPT(Multi Purpose Test:多目的試験) <NUMO職員の長期派遣:2012/10/1～12/8, 2013/4/3～6/19, 2013/9/11～12/11, 2013/11/15～12/4, 以降検討中>	設計、定置装置の改良、緩衝材の製作・一体型組立、搬送、定置、プラグ構築、モニタリング、解体までの一連の工程を実規模で実施。	2011年度～
	地下水流動・物質移動モデル構築タスクフォース	SKBの原位置試験結果に基づくデータセットを用いて、データの解釈やモデル構築や解析などを実施。データ解釈の考え方やモデル構築手法、構築したモデルに基づく解析結果などについて議論し知見を共有。 ・タスク8: 緩衝材と亀裂性岩盤の接続を考慮した試験を対象とした地下水流動モデルと緩衝材の飽和挙動に係るモデルの構築 ・タスク9: 原位置拡散試験を対象とした亀裂中の移流分散とマトリクス拡散、収着を対象としたトレーサ試験解析モデルの構築	
	人工バリアタスクフォース	SKBの原位置試験結果に基づくデータセットを用いて、データの解釈やモデル構築手法の選択、モデル構築や解析などを実施。	

共同研究の例 (3 / 3)

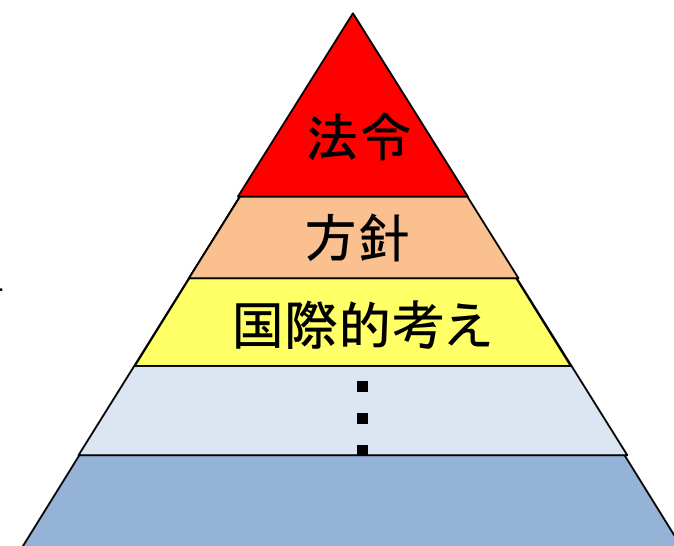
機関(国、場所)など		概要	開始年
OECD/NEA国際プロジェクト	EGOS(操業安全性に関する検討) (Expert Group on Operational Safety)	操業安全に関する専門家グループの検討会 ・火災影響評価や搬送・定置作業の安全性対策等の検討 ・操業安全ハザードデータベースの構築	2015年度～
	Clay Club(堆積岩に関する検討)	各国における泥質岩の特性・挙動、調査・試験技術などに関する情報を集約。 ・泥質岩中の間隙水の結合状態や移行特性に関する情報の収集・整理(2016～2018年度)	2001年度～
	Crystalline Club(結晶質岩に関する検討)	各国における結晶質岩の特性・挙動、調査・試験技術などに関する情報を集約。 ・2017年12月 第1回会合	2017年度～
	FEP Database(国際FEPデータベース整備)	国際FEPデータベースのWebデータベースの実用化に向けた作業において、改良点などを検討。 ・現象理解に関する知見(参考文献)の検索機能の充実 ・FEPの分類の階層構造の検討	2013年度～
国際共同プロジェクト (Nagra: スイス、 RWM: 英国、ANDRA: フランス、BGE: ドイツ)	ボーリング孔閉塞技術	・ボーリング孔の閉塞のため、国外で検討されている金属プラグに関する技術の整備 ・上記の成果と、NUMOが検討するベントナイトやセメント材料による閉塞技術と合わせることで、ボーリング孔の閉塞技術を整備する	2018年度～
国際共同プロジェクト (各国の実施主体等)	BIOPROTA(生活圏モデル・データに関する検討)	生活圏影響評価のための方法論や重点課題(GBIの様式化、C-14の移行評価、長期変動の取扱い等)について、実施主体と規制当局が共同で解決策を検討。	2002年度～
国際共同プロジェクト (各国の実施主体等)	NAWG(ナチュラルアナログワーキンググループ)	各国によるナチュラルアナログ研究に係る情報共有に加え、放射性廃棄物の処分等へのナチュラルアナログの適用性やその妥当性に係る国際的な議論を実施。	2016年度～



参考資料2

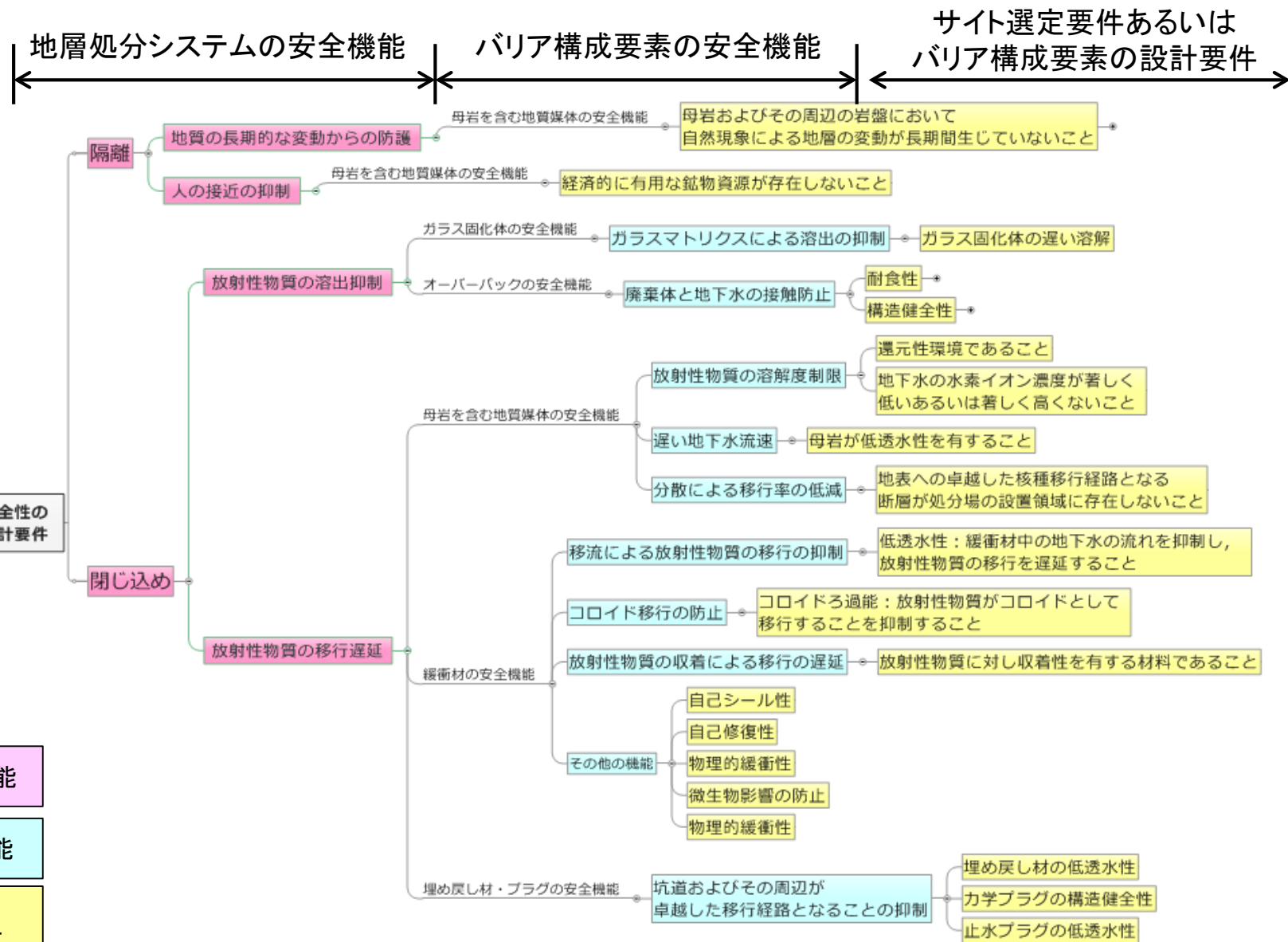
NUMOにおける技術マネジメントを円滑化する
仕組みづくりの詳細

- 地層処分技術への要件は、最終処分法及び最終処分基本方針・最終処分計画に示された要件、規制機関が定める基準、国際的原則・指針、廃棄体要件、サイト選定・処分場の設計・安全評価に求められる要件等があり、これらを階層的に整理して、NUMOにおいてセーフティケースを作成中
- セーフティケースの作成によって明らかになった課題については、次段階の技術開発に対する新たな要件とし、地層処分研究開発調整会議において関係機関と調整して次期全体計画に反映
- NUMOでは、こうした技術に対する要件の階層的構造を追跡性と透明性をもって管理し、科学技術の進歩や社会的条件の変化に応じて更新し、新たに必要な知識などを創出するための技術開発への指針を与えることを目的とした要件整理を実施

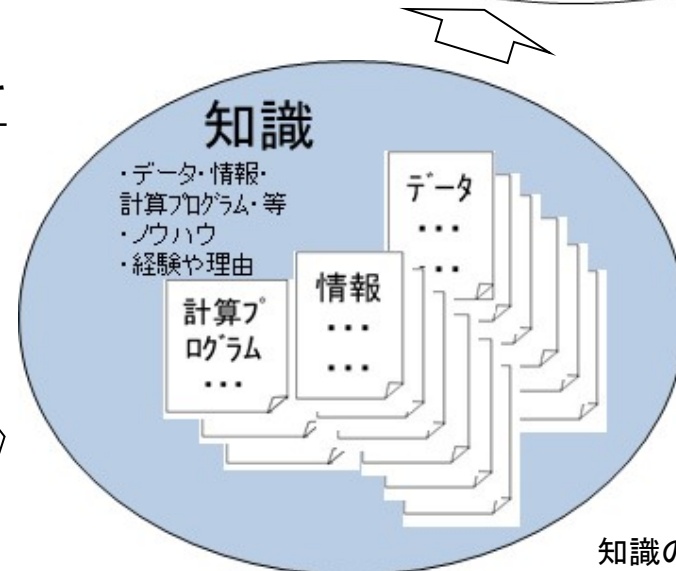
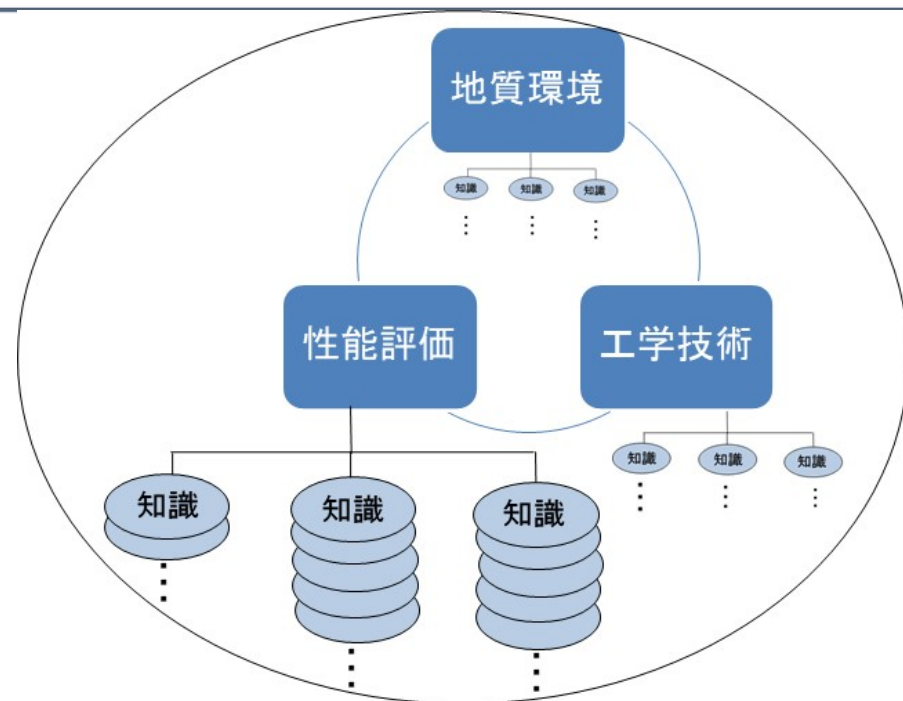


要件マネジメントの構造イメージ

要件の分類・整理の例



- NUMOにおいて包括的技術報告書の取りまとめを行っており、必要な最新の知識・情報・データは透明性を確保して階層化するとともに追跡性、検索性を高める作業を実施中
- JAEAでは先端的ITを利用した知識マネジメントシステムのプロトタイプを開発し、これまでに構築した核種移行パラメータなどのデータベースの一元管理、専門家の経験やノウハウなどの知識の表出化を試行
- 関係機関が公表している関連報告書や論文については、NUMOの技術情報のポータルサイトに一元的にリスト化し、それぞれ各機関のWebsiteにリンクをはって日本全体としての技術情報の管理・提供ができる仕組みを検討中（原子力委員会の提言*に沿った活動）

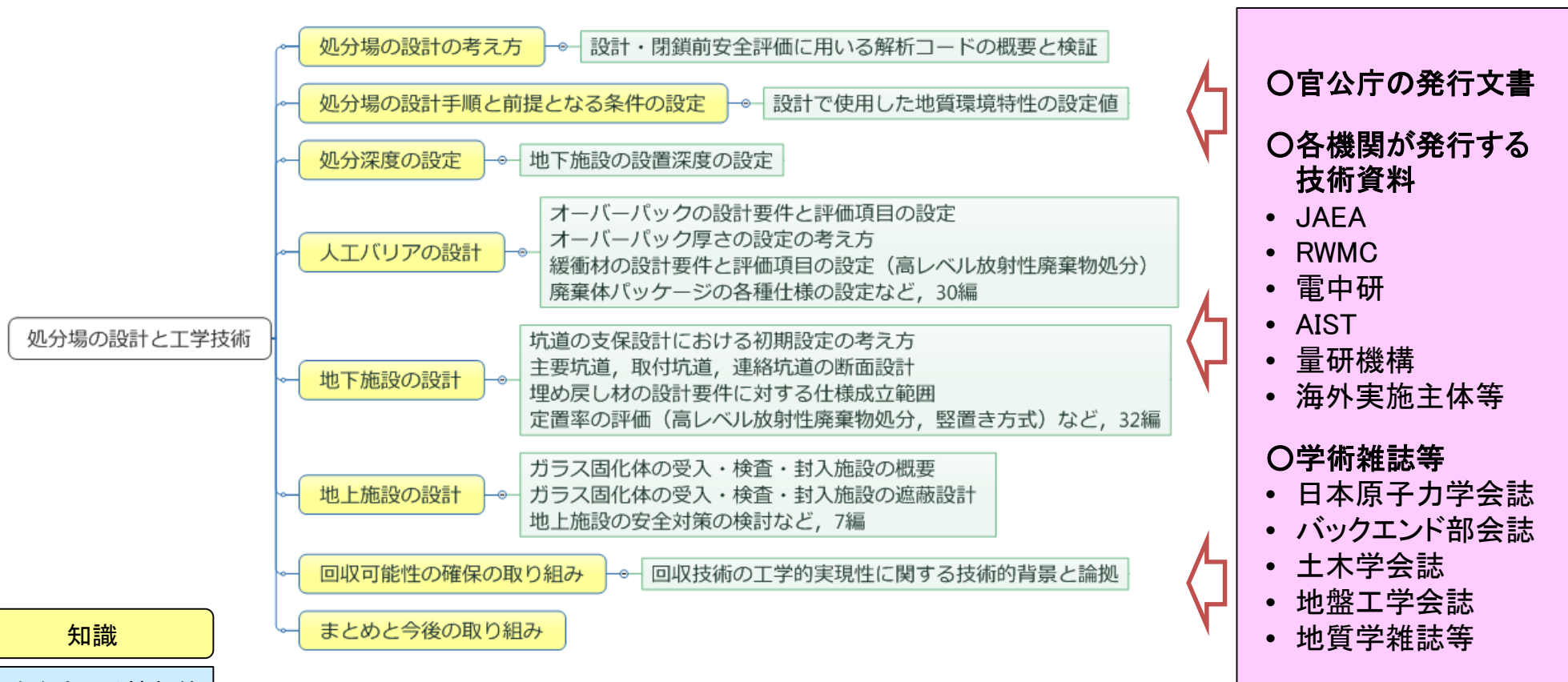
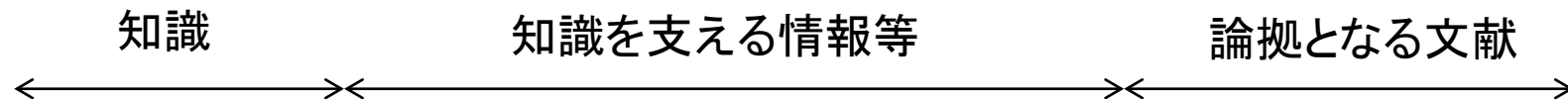


知識の体系化イメージ

*.原子力委員会
「理解の深化 ～根拠に基づく情報体系
の整備について～（見解）」（2016年12月）



知識の分類・整理の例

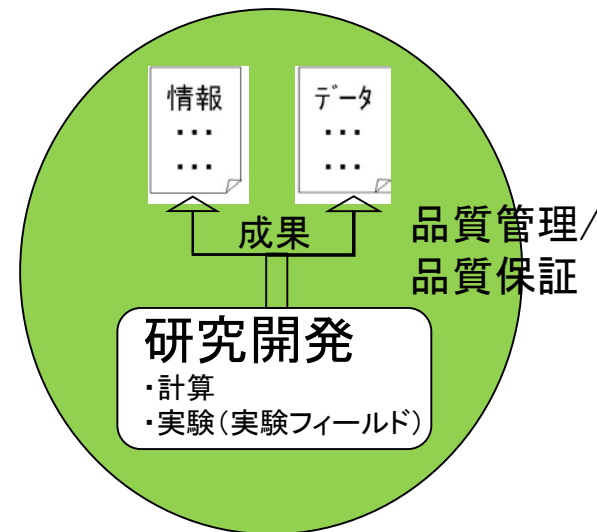


知識

知識を支える情報等

論拠となる文献

- 個別研究開発の成果については、論文の相互レビューや研究協力によって技術的品質を確保することが基本
- セーフティケースの作成にあたっては、利用する個々の情報・データの品質が確保されていることは勿論、それらを最終的に安全性の説明に統合するプロセスについても品質の確保が必要であり、これについては、国内外の第三者によるピアレビューによって確保（NUMO技術アドバイザー委員会やOECD/NEAの国際レビューサービスの利用など）
- 実験室や原位置における試験やデータ取得、各種解析における計算プロセスの品質管理の詳細を規定し、実際にそれを記録として残すことによって保証するという作業は、事業の進展を考慮すると今後より重要。



データ品質の確保の例

品質が確保されたデータを分類する流れの例

