

段階的な事業推進における 構造化アプローチと要件管理



2007年7月

原子力発電環境整備機構

2007 年 7 月 初版発行

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記へ
お問い合わせください。

〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番地 23 号 三田 NN ビル 2 階

原子力発電環境整備機構 技術部

電話 03-4513-1114 (技術部) FAX 03-4513-1599

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Science and Technology Department

©原子力発電環境整備機構

(Nuclear Waste Management Organization of Japan) 2007

目 次

第1章 はじめに.....	1
1.1 本書の目的.....	1
1.2 本書の構成.....	2
第2章 段階的な事業展開と技術的信頼性の向上.....	3
2.1 段階的な事業展開.....	3
2.2 事業の進展に応じた技術的信頼性の向上.....	4
第3章 構造化アプローチ.....	8
3.1 文献調査段階における「処分場概念」検討の構造化.....	8
3.2 「処分場概念」の評価の方法.....	10
3.3 事業全期間への展開.....	11
3.3.1 事業全期間への NSA の展開.....	11
3.3.2 外的条件変化への対応.....	13
3.4 従来型マネジメントモデルと構造化アプローチモデルの比較.....	16
3.5 構造化アプローチの役割と実践.....	18
第4章 要件管理の基本的な考え方.....	19
4.1 意思決定の階層構造と NSA.....	19
4.2 意思決定の構造.....	20
4.3 意思決定プロセスにおける要件管理.....	22
4.3.1 要件管理の必要性.....	22
4.3.2 RMS の開発.....	23
第5章 まとめ.....	28
参考文献.....	29
付録 「要件」整理の一視点.....	付-1

図 目 次

第2章

図 2.1-1	段階的な事業展開の全体スケジュール.....	3
図 2.1-2	3段階の処分地選定過程.....	4
図 2.2-1	技術的信頼性向上への段階的な取り組みの全体像.....	5

第3章

図 3.1-1	文献調査段階における処分場概念の検討の流れ.....	8
図 3.2-1	構造化因子の処分場概念に対する相対的な重要度の変化のイメージ.....	11
図 3.3-1	サイト選定段階における処分場概念構築等の流れ（概念）.....	11
図 3.3-2	NSA の事業全期間への展開.....	12
図 3.3-3	事業の段階間における外的条件変化への対応.....	13
図 3.3-4	条件の大幅な変化に伴う「構造化因子」変更の影響範囲の特定と反映.....	14
図 3.3-5	「構造化因子」修正の影響を反映した後の NSA による意思決定の流れ.....	15
図 3.3-6	最適な技術や概念オプションの選択と不採用案の維持.....	16

第4章

図 4.1-1	意思決定の階層構造と各レベルでの NSA の展開.....	19
図 4.2-1	「意思決定の構造」の一例.....	20
図 4.2-2	検討段階における別の意思決定の影響も含めた意思決定構造の一例.....	21
図 4.3-1	機構の技術業務の全体像.....	25
図 4.3-2	局所的な意思決定事項 Di の修正プロセスに関する記録.....	27

表 目 次

第3章

表 3.4-1	一般の営利企業と地層処分事業におけるマネジメントモデルの相違比較.....	16
---------	---------------------------------------	----

第1章 はじめに

1.1 本書の目的

地層処分事業は長期にわたる事業であり、国民、地元自治体及び住民など利害関係者（ステークホルダー）の理解を得ながら事業を進めることが不可欠である。さらに、その関係者が、当該事業の必要性及び重要性を事業者とともに共有できたとき、はじめて円滑に進められる。そのため、原子力発電環境整備機構（以下、「機構」という）は、サイト選定の第一段階である概要調査地区の選定に向けて、「高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域」（以下、「応募区域」という）を全国の市町村から公募する方法を採用した。これはこれまでの諸外国が取り組んできたサイト選定における経験や失敗事例（例えば、処分計画の凍結や逆戻りなど）を参考にし、地域の自主性を第一に尊重するという考えに基づくものである。

この公募方式を選択したことに伴い、機構は処分場設計においていくつかの困難さも併せ持つこととなる。例えば、機構は応募を受け付けた様々な地域の環境に適応する処分場概念を柔軟に構築していくことが必要となる。複雑な日本の地質という特徴や、諸外国のように処分候補地や候補岩種を絞り込んだ検討・研究開発が進められないという制約条件が生じる。また、最初の段階は文献調査のみで候補地が絞られるが、その期間は比較的短く、得られる情報にも限りがあり、かつ複数の応募がある場合はそれらの地点の調査を同時に進めなければならない。さらに、地層処分事業は3段階のサイト選定から処分場建設、操業、閉鎖と段階的に進められ、その各段階の節目では重要な意思決定、つまり関係者が次段階に進むことの合意がなされた上で着実に進められることが不可欠となる。したがって、このような長期にわたる段階的な事業を進める上で、技術的側面からは、技術の信頼性を長期にわたって確保していくことが極めて重要である。

そこで、機構は、段階的なサイト選定の進展に応じた処分場概念構築及び処分事業推進のための一貫した手法が特に重要と考え、そのような事業全体を管理するための手法として、構造化アプローチ（NUMO Structured Approach : NSA, 第3章で詳述）の開発に取り組んでいる。「構造化」とは、処分事業におけるサイト選定や処分場概念構築などを各段階で合理的・効率的に反復・展開していく上で、共通に必要とされる基軸・枠組みを準備することをいう。この手法を開発する狙いとしては以下の事項が挙げられる。

- ・ 長期にわたる段階的な事業展開に必要となる「技術的事業管理手法」を整備すること
- ・ 技術開発の計画・実施や意思決定の一貫性を保つこと
- ・ 段階ごとに更新される情報、科学/技術の進展及び社会的制約条件の変化等に柔軟かつ効率的に対応すること
- ・ 事業の各段階での意思決定プロセスの透明性、追跡性を確保すること

さらに、構造化アプローチを効率的に実践するため、処分場概念等に関わる各要件やその関連情報をデータベース化し、意思決定等のために活用していく機能を持たせた支援システムとして、要件管理システム（Requirements Management System : RMS, 第4章で詳述）の開発に着手した。

本書は、上記を背景として、今後どのように構造化アプローチを実践していくのか、またそのためのツール・手法としてどのような要件管理システムを開発していくのかの基本的な考え方を示す

ことを目的とした資料である。本資料を作成するに当たり、「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性―「処分場の概要」の説明資料―（NUMO-TR-04-01）」（原子力発電環境整備機構，2004a）第7章「段階的なサイト選定に応じた処分場の開発」で論じた内容，及びそれ以降に機構が国内外で発表した内容や現時点の方針等を技術的情報のベースとして本資料を取りまとめた。

1.2 本書の構成

上記の目的に沿って、「段階的な事業推進における構造化アプローチと要件管理」についての基本的な考え方を示すため、本書は四つの章から構成されている。

本書の各章における内容は、以下のとおりである。

第2章では、機構の段階的な事業展開と信頼構築の基本姿勢，並びに技術的信頼性の向上に向けた段階的な取り組みを紹介し，構造化アプローチが必要とされた背景を述べている。

第3章では，事業初期の「処分場概念」検討の基本構造を基に，事業全期間並びに事業全体への構造化アプローチの展開の概念を示し，事業を進める中で外的な条件変化が生じた場合の対応や事業における重要な意思決定に影響を及ぼす包括的な因子（構造化因子）について論ずる。

第4章では，構造化アプローチを具体的に実践していくためのツール・手法として，要件管理システムを開発する上での基本的な考え方や機構の品質マネジメントシステム（Quality Management System，以下，「QMS」という）との整合性の確保について論ずる。

最後に第5章では，本書のまとめと今後の取り組みについて述べる。

第2章 段階的な事業展開と技術的信頼性の向上

2.1 段階的な事業展開

機構は高レベル放射性廃棄物を安全・確実に処分する組織として、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（平成12年法律第117号）（以下、「最終処分法」という）に基づき2000年10月に設立された。

最終処分法に基づき、国は、地層処分事業が適切に実施されるよう「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件」（通商産業省，2000a）及び「特定放射性廃棄物の処分に関する計画を定めた件（以下、「最終処分計画」という）」（通商産業省，2000b）を策定している。この最終処分計画には、平成30年代後半（2023～2027年）を目途に最終処分施設建設地を選定し、平成40年代後半（2033～2037年）を目途に最終処分を開始することが示されており、機構はこのような段階的な事業展開の全体スケジュールとして、概略、図2.1-1のように想定している。

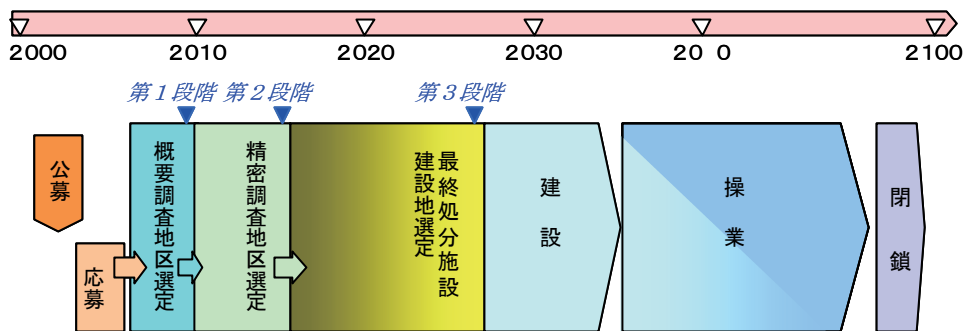


図 2.1-1 段階的な事業展開の全体スケジュール（原子力発電環境整備機構，2004a を一部修正）

高レベル放射性廃棄物の最終処分施設建設地は、最終処分法に基づき、

概要調査地区の選定→精密調査地区の選定→最終処分施設建設地の選定

という三段階の過程を経て選定される（原子力発電環境整備機構，2002d）。各選定の調査では、

- ・ 概要調査地区の選定：文献調査
- ・ 精密調査地区の選定：ボーリングを含む地上からの調査（概要調査）
- ・ 最終処分施設建設地の選定：地上からの調査に加え地下の調査施設を利用した調査（精密調査）

が行われ、サイト選定が進められることとなっている（図 2.1-2 参照）。

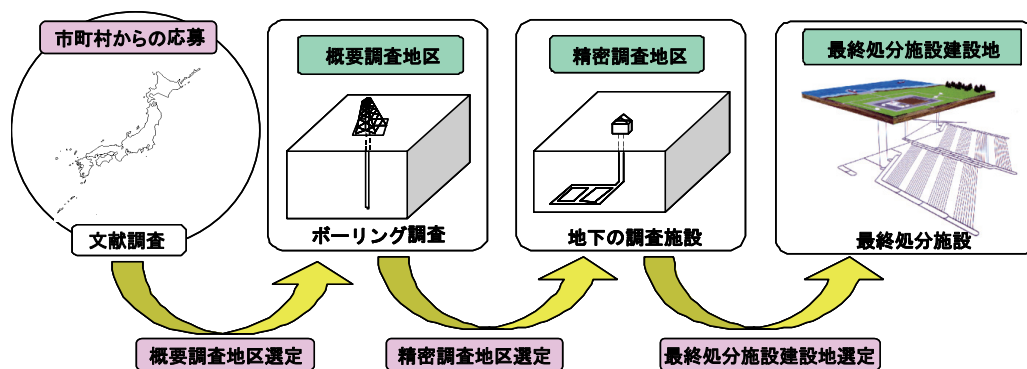


図 2.1-2 3段階の処分地選定過程（土木学会，2001 を一部修正）

2.2 事業の進展に応じた技術的信頼性の向上

地層処分事業に対する利害関係者（ステークホルダー）の安心と信頼を得て事業を円滑に進めるため、機構は、

- ・ 段階的な事業展開 : 各段階ごとに得られた知見を評価・公表し、地域の意向を確認しながら次の段階へ進む
- ・ 地域の自主性の尊重 : 事業に対する地域の理解に基づく自発的な協力を尊重
- ・ 透明性の重視 : 情報の公開と正確でわかりやすい情報の提供

の3点を事業推進の基本姿勢としている（原子力発電環境整備機構，2002a）。そしてこの考えに基づきサイト選定の第一段階である概要調査地区の選定に向けて、応募区域を全国の市町村から公募する方法を採用した。その理由は、処分事業が極めて公共性の高いものであることに加え、約100年にわたる事業であることから、これを進めるためには処分場を受け入れていただく地域の自主的な判断が何より重要であるとの考えに基づいている。2002年12月の公募開始にあたり、機構は、公募関係資料（原子力発電環境整備機構，2002b～2002e）として「応募要領」、「処分場の概要」、「概要調査地区選定上の考慮事項」及び「地域共生への取り組み」を取りまとめ、全国の市町村に送付した。これらは、応募を検討していただく市町村等に対して意思決定のための判断材料を提供するものである。

2007年1月、高知県東洋町から応募があったものの、同年4月に応募は撤回された。その後、正式な応募に至った自治体はないが、公募に関心のある複数の地域からは様々な問い合わせが寄せられている。実施主体としては地域の要請を受け、説明会や勉強会等の理解促進活動を展開し応募獲得に向けて取り組むことが重要であると考えている。

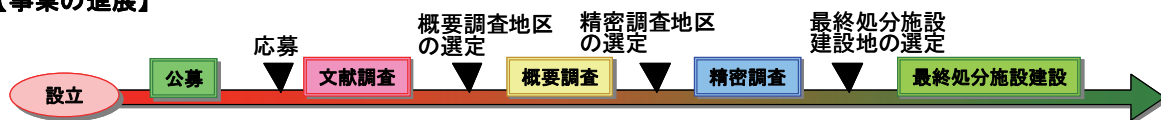
応募のあった区域では、最初の段階は文献等の資料に基づき、その得られた資料範囲内で概要調査地区としての適格性が評価され、続く概要調査ではボーリング等による地上からの調査により精密調査地区としての適格性が評価される。さらに精密調査では、地上からの詳細な調査に加えて、地下の調査施設での地質環境や水理特性等、広範な測定・試験等を実施する。精密調査と並行して、その時点で適用可能な技術の実証を行う。そして最終処分施設建設地としての適格性が評価され、

建設地が選定される。このように処分事業は段階的に進められるサイト選定に応じて地質環境等に関する情報（以下、「サイト環境条件¹⁾」という）や技術開発に伴う工学技術や性能評価の技術が蓄積され事業の計画も詳細化されていくという特徴を有する。

また、このサイト選定プロセスには約 25 年を要するとともに、処分場建設に約 10 年、廃棄体の定置等の操業に約 50 年、処分場閉鎖に約 10 年を要するため、処分事業全体としては約 100 年にわたる非常に長期の事業であることがもうひとつの特徴である。このような長期の間には、技術の進展が予想されるとともに、地層処分事業をとりまく社会経済的・政治的条件も変化していくことが想定される。

機構はこのような処分事業の特徴を踏まえて、処分事業の技術的信頼性を事業の進展に沿って向上していかなければならない(Kitayama, 2006)。そのための段階的な取り組みの全体像を図 2.2-1 に示す。この図に示す各段階での具体的な取り組みはそれぞれ以下に詳述するが、各段階で主に検討される内容や取り組まれる活動は隣り合う段階で重複することを予め述べておく。例えば、それぞれで実施する技術開発及び技術基盤の整備は前段階の途中から開始されること、次段階の取り組みが開始された後もその段階の技術開発及び技術基盤の整備はある部分において継続されることを意味する。

【事業の進展】



【技術的信頼性の向上】

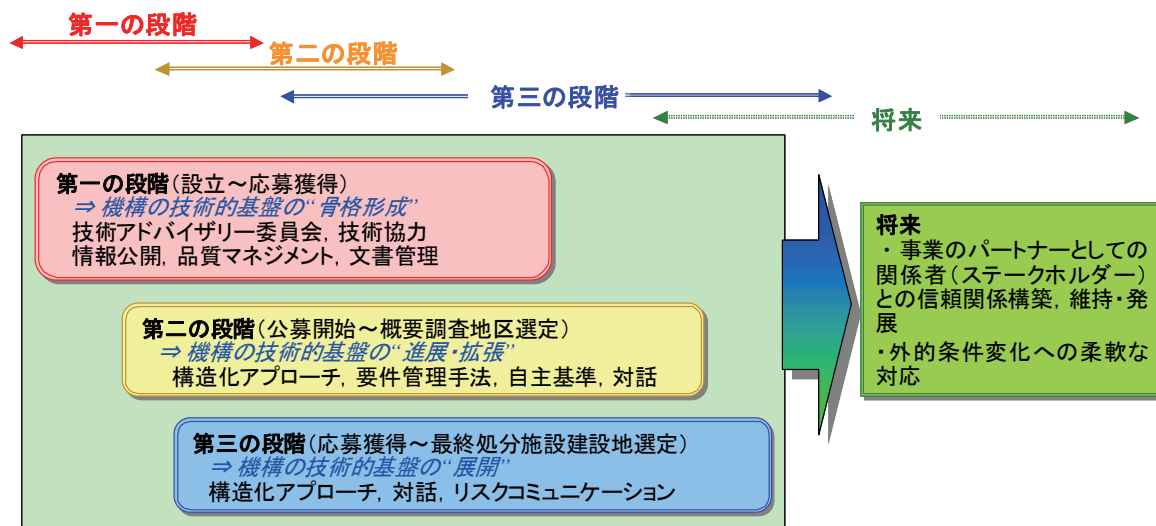


図 2.2-1 技術的信頼性向上への段階的な取り組みの全体像

¹⁾ サイト環境条件には、サイトの地質環境や生物圏の他、自然環境、社会環境などの環境の条件を含む。

(1) 第一の段階

機構設立から応募を得るまでの「第一の段階」では、機構の技術的信頼を構築するためのいわば“骨格形成”に取り組んでいる。例えば、機構の技術アドバイザー国内委員会（Domestic Technical Advisory Committee ; DTAC）及び技術アドバイザー国際委員会（International Technical Advisory Committee ; ITAC）といった組織で、機構の技術業務及び公表資料等に対する専門家の意見を反映してきている（Kitayama et al., 2005a ; 技術アドバイザー国内委員会, 2003）。

さらに、国内及び海外の関係機関と技術協力協定を結び、サイト選定や処分場及び人工バリア等に関する工学技術、並びに性能評価技術等に関する分野で協力を進めてきた（Kitayama et al., 2005a）。

一方、科学的、技術的な正確性及びわかりやすさといった観点から品質の高い文書を作成し、公表するため、QMS を構築し、運用している。QMS は「第二の段階」以降も継続的に改善され、各段階での業務に適応できるよう拡張される。そして、機構の技術資料の妥当性を確認するため、積極的に国内外の学会等へ技術検討の成果を発表し、科学・技術雑誌等への論文を投稿するとともに、技術報告書（NUMO-TR シリーズ）を公表し、それらの技術報告会を開催してきた。

(2) 第二の段階

公募を開始して概要調査地区選定までの「第二の段階」（現段階）では、機構はさらに深く技術的信頼性を確保するため、技術基盤の進展・拡張に取り組む必要がある。そして技術的信頼性を長期にわたって確固たるものにする上で、第3章で詳細に述べる構造化アプローチを中心とした取り組み（北山, 2005 ; Kitayama et al., 2005b ; Kitayama et al., 2005c）は特に重要な役割を果たす。先に述べたように段階的に進められるサイト選定により蓄積されるサイト環境条件と、それに対応した処分施設や性能評価の検討はこの事業の中心的な技術業務であり、技術的信頼性確保にとっても不可欠な活動である。第二の段階では処分事業の長期的活動を踏まえ、ここ10年程度に考えられる具体的活動とその意思決定過程を十分な透明性を持って説明していく必要がある。これらの遂行に当たって一貫した方針のもと、柔軟性を維持しつつ取り組む構造化アプローチ及びこれに対応して進める要件管理手法等の開発及び運用が必要となってくる（北山, 2005 ; Sakabe et al., 2005）。

技術的信頼構築の重要な要素として、機構の活動内容をできるだけ多くの国民や地元の方々にご理解いただくことが大切である。しかし、地層処分の難解な技術的活動を理解してもらうための対話手法はいまだ十分に整備されているとは言えない。このため特に技術部門においては、技術的内容の理解促進のための対話技術及びリスク・コミュニケーション手法などの開発に取り組むとともに、機構職員のコミュニケーションや対話の技術向上に向けた取り組みを開始している（稲継ほか, 2006 ; Inatsugu et al., 2006）。

(3) 第三の段階

応募獲得から最終処分施設建設地選定までの「第三の段階」では、構造化アプローチ、対話技術、リスク・コミュニケーション手法など、第二の段階で検討を進めた信頼構築の手法・技術をより一層進め、サイトスペシフィックな環境条件にも対応した実務に展開していく必要がある。さらに、

サイト環境条件に適応する，より詳細化していく技術的内容の理解促進を目的とした対話活動で実践的に使える手法を常に更新していくことが，技術的信頼感醸成のため特に重要となってくる。

(4) 将来

精密調査地区選定以降の将来では，機構と地元地域の利害関係者（ステークホルダー）とでそれまでに構築してきた“事業のパートナー”としての信頼関係をより一層維持・発展させるとともに，地層処分の必要性及び重要性を共有し，互いに尊重し合うことが重要である。したがって，このための継続的な対話活動や技術的活動の信頼を深める対話手法については，第三段階よりさらに進めた新たな展開が必要となると考えられる。このような背景のもと，安全で社会的に受け入れられる事業として，ともに推進していく認識を両方で約束・共有しあうことが重要である。

以上に述べたような技術的な信頼性向上のためには，段階的な事業の展開において，意思決定の一貫性と外的条件変化への柔軟な対応が不可欠であり，次章で論ずる構造化アプローチの手法を展開することは特に重要と考える。

第3章 構造化アプローチ

本章では、まず「構造化」されたアプローチ（手法）を構築する最初の作業として、事業の初期段階（概要調査地区選定段階）において、文献調査によって得られたサイト環境条件に関する情報や設計・性能評価に関する制約条件から「処分場概念」検討の基本構造を明らかにし、これを基に、事業全期間並びに事業全体への構造化アプローチ（NUMO Structured Approach ; NSA）（以下、「NSA」という）を展開する概念を示す。ここで「構造化」とは、処分事業におけるサイト選定や処分場概念構築などを各段階で合理的・効率的に反復・展開していく上で、共通に必要とされる基軸・枠組みを準備することをいう。さらに、事業を進める中で外的な条件変化が生じた場合への対応や事業における重要な意思決定に影響を及ぼす包括的な因子（構造化因子）について論ずる。

3.1 文献調査段階における「処分場概念」検討の構造化

事業の初期段階でサイト環境条件と工学技術・性能評価をもとに検討する対象は、サイトの適性と「処分場概念」である。「処分場概念」は処分施設とそれに関連する周辺の環境条件を含んだ概念である。これらの検討は、文献調査、概要調査、精密調査に応じて段階的に詳細化されるサイト環境条件に関する情報を反映しながら、繰り返し進められる。したがってその検討の進め方は、予めある程度構造化されている必要がある（原子力発電環境整備機構，2004a）。

ここで、構造化の例として、文献調査段階における検討について、処分場概念を対象とした検討の流れ図の例を図 3.1-1 に示す。

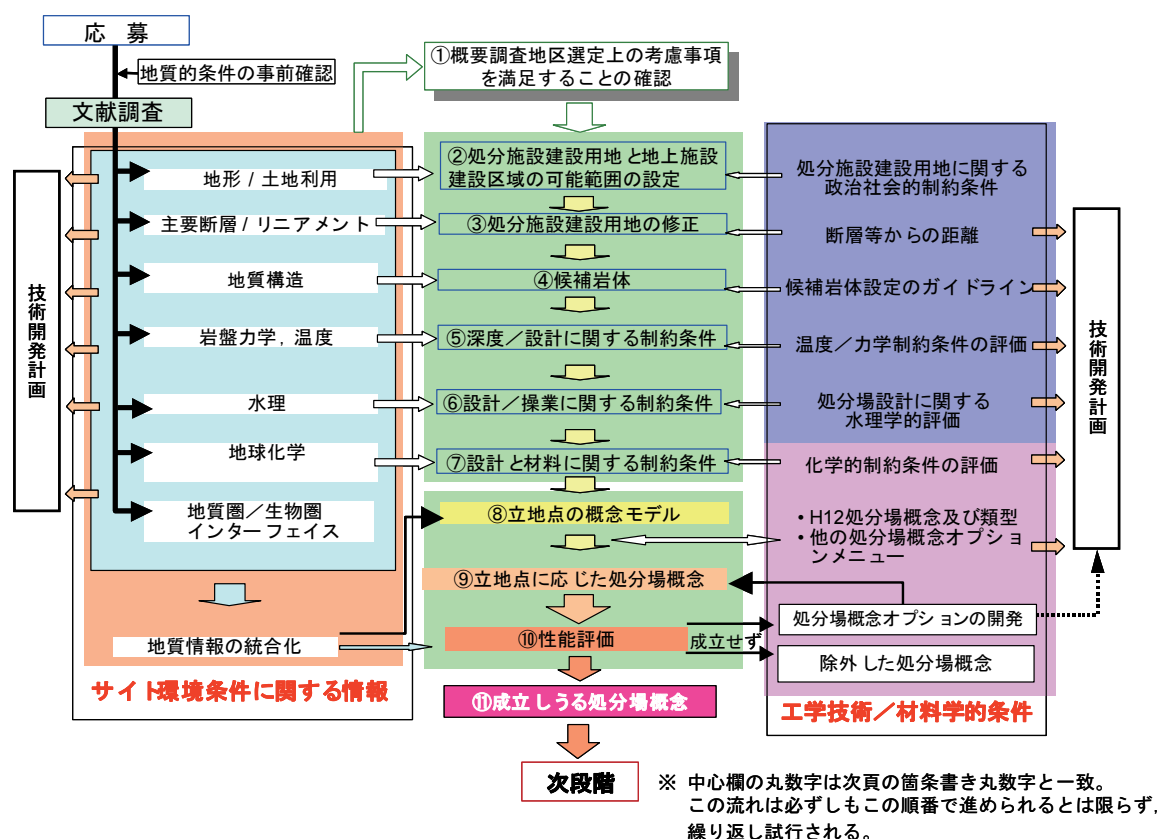


図 3.1-1 文献調査段階における処分場概念の検討の流れ
(原子力発電環境整備機構，2004a を一部修正)

まず、左側の欄にはサイト環境条件に関する情報が、右側の欄には設計にあたって考慮すべき工学的あるいは材料学的な制約条件が整理される。これらを用いたサイト適格性評価と処分場概念の検討の流れは中心の欄に示すように、サイト環境条件と工学技術を基軸に選び構造化した制約条件をクリアして検討を進めることが出来る。具体的な例として検討の基本的な流れを示すと下記のようなになる。ただし、この順序通りに進めるという場合ばかりではない。

- ① 最初に、文献調査結果によるサイト環境条件が概要調査地区選定上の考慮事項のうち「法定要件に関する事項」を満足しているかどうかを確認される（サイトの適格性）。
- ② その上で、まず、地形や土地利用状況に関する情報、自然環境・社会環境に関わる制約条件から、処分施設建設用地（地下施設部分の地表への投影と地上施設部分を合わせた範囲）と地上施設建設区域が検討される。
- ③ 作成された案について、主要な断層とリニアメントの位置を考慮して処分施設建設用地の修正案が検討される。
- ④ 次に地質構造や地質環境特性（例えば岩盤物性）に関する情報から、処分場の地下施設を建設する候補岩体が検討される。
- ⑤ 岩盤力学特性や温度に関する情報と工学技術／材料についての力学的・熱的制約条件の評価により、深度や坑道配置、処分パネルレイアウトに関して立地点が有する力学的・熱的制約条件が明らかにされる。
- ⑥ さらに、水理学的情報と処分場設計に関する水理学的評価に基づいて、深度、坑道配置、処分パネルレイアウトなどについての処分場設計及び操業上の水理学的な制約条件が明らかにされる。
- ⑦ 地下水の地球化学的条件と工学技術／材料についての地球化学的制約条件の評価によって、人工バリアの設計や材料に関して立地点が有する地球化学的制約条件が明らかにされる。
- ⑧ 以上の過程を経て明らかにされる処分場設計上の制約条件と統合されたサイト環境条件に関する情報を合わせることによって立地点の概念モデルが構築される。
- ⑨ 作成された立地点の概念モデルに対して、核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構）の第2次取りまとめ（核燃料サイクル開発機構，1999）の処分場概念（レファレンスシステム及びその類型）や考えられる他のオプションを検討し、その立地点において技術的に成立する可能性のある処分場概念を明らかにする。この際、考えられるオプションの重要性はそれぞれ異なる。
- ⑩ 明らかにされた処分場概念に対して長期的安全性を検討するために総合的な性能評価を行う。
- ⑪ 長期的安全性確保が可能と判断された処分場概念はこの段階における有力な処分場概念となるとともに、次段階のより詳細なサイト環境条件を用いて最適化を進める処分場概念の初期条件を与えることとなる。長期安全性確保が難しい場合は処分場概念の除外や別のオプションの開発へと進む。

上記の作業の過程では、処分場の設計や性能評価が、場合によっては繰り返し試行されることにより、工学技術や性能評価に関して重点的に進めるべき研究開発課題が明らかになるとともに、次

段階のサイト調査に関して最適化が図られ、調査技術・評価手法に関する研究開発課題が明らかになる。このように処分場概念の検討を通して重点的に進めるべき研究開発課題を明確にできることも本構造化アプローチの特長の一つと考える。

3.2 「処分場概念」の評価の方法

処分場概念構築における「構造化」の基軸としてサイト環境条件、工学技術及び性能評価技術を挙げたが、これらに影響を及ぼす因子として「設計因子 (Design Factor)」が定義された (Umeki et al., 2003; Ueda et al., 2004)。この因子は、閉鎖後安全性 (Long-term Safety)、操業安全性 (Operational Safety)、工学的成立性／品質保証 (Engineering Feasibility / Quality Assurance)、工学的信頼性 (Engineering Reliability)、サイト特性調査とモニタリング (Site Characterisation and Monitoring)、回収可能性 (Retrievability)、環境影響 (Environmental Impact)、社会経済的側面 (Socio-economic Aspect) など処分場概念構築において考慮すべき性質や能力を表している。これを指標にして処分場概念のサイト環境条件への適合性を包括的に評価することが可能である。構造化された設計因子によって、処分場概念のサイト環境条件への適合性を評価するため、サイト環境条件を構成する主要パラメータを横軸にとり、縦軸の各設計因子との相関性を半定量的に評価するマトリクスが作成されている。また、より実際的には、特にサイト選定の初期段階において、特定のサイト環境条件に関する情報の不足、あるいは情報に含まれる不確実性をどのように取り扱うかが重要な課題となるが、このような観点からも「構造化」された手法を適用することによって、課題やそれに対する技術開発の方向性を明らかにすることができる (Ueda et al., 2004)。

なお、これら設計因子は事業の各段階で不変ではなく、因子自体またはその重要度は段階が進むにつれて変化することが考えられる。また、処分場概念構築のみならずサイト選定や社会的受容性といった、事業を進める上で重要な意思決定等に影響を及ぼすと考えられる因子も包括的に考慮し、NSA の実践に反映していく必要があると考える。以上のことから、事業全体において NSA の考え方を実践するため、上記の設計因子についてここでは、長期変化への対応性と、処分場概念構築のみならず事業推進全般への展開性も視野に入れた包括的な「構造化因子」を新たに定義することとする。機構は構造化因子の各因子の重要度を検討の各時点で吟味し、それぞれの意思決定に反映させる。従来に比べ重要度等に大きな変化があった場合、サイト環境条件や工学技術、性能評価技術等の個別の内容を見直すとともに、意思決定に必要となる要件そのものも見直されることとなる。

図 3.2-1 は、上記の構造化因子のうち、各段階での処分場概念構築に対する重要度が時間とともに変化することが想定される主な因子を抽出し、それらの相対的な変化を想定したイメージである。許認可に向けてリスク・コミュニケーションやサイト環境評価における環境条件の不確実性（例えば、応募区域の広さ・Footprint に関する不確実性など）に対する柔軟性が相対的に最も重要度の高い因子になり、サイトの選定が進むにつれ他の構造化因子（例えば、操業安全や品質保証など）もその相対的重要性が変わってくるものと想定される。ただし、図 3.2-1 で注意すべきことは、初期の段階での「品質保証」や建設・操業段階での「閉鎖後安全性」の重要度が“絶対的”に低いというものではない。処分場概念を構築するという検討過程において、初期の段階では様々な不確実性の存在により、概念について必ずしも後の段階のように十分な品質保証ができない場合も想定されることを意味する。また、「閉鎖後安全性」は許認可時や閉鎖段階において相対的に重要性が高く位置づけられているが、建設・操業時の品質保証が十分かつ適切に行われることが閉鎖後安全性を確保する

上で不可欠であることに代わりはない。この構造化因子は、次項で述べる事業全期間での NSA の実践において、それぞれの重要度を考慮しつつ様々な意思決定に反映される。

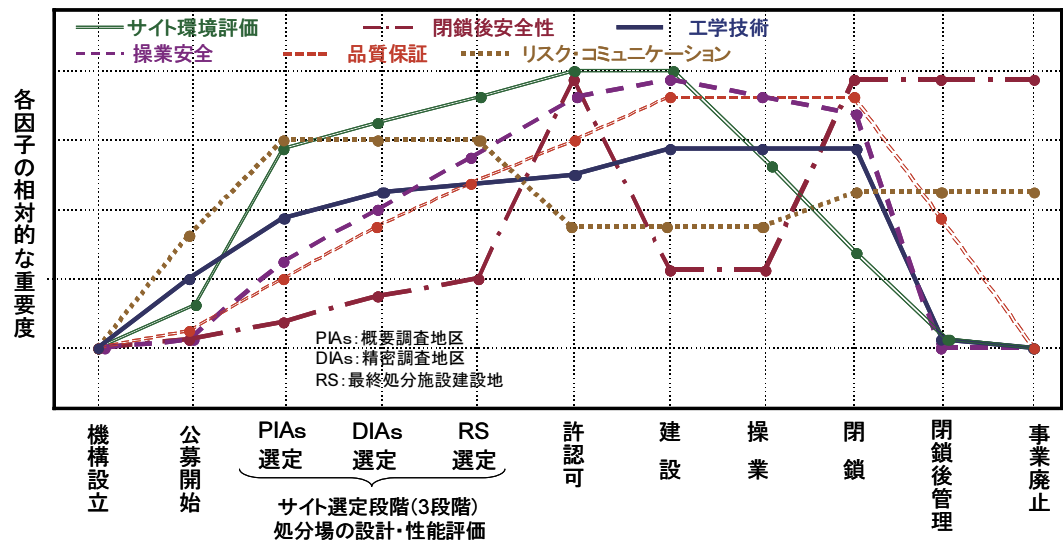


図 3.2-1 構造化因子の処分場概念に対する相対的な重要度の変化のイメージ

3.3 事業全期間への展開

3.3.1 事業全期間への NSA の展開

3.1 で述べた文献調査段階における処分場概念検討プロセスの構造化は、サイト選定段階全体に拡張できる。図 3.1-1 で示した個々の検討の進め方（プロセス）を「サイト環境条件」、「工学技術」、「性能評価技術」、「サイト評価及び処分場設計・性能評価に基づく意思決定」、「サイトの総合的な評価及びサイト環境条件に適合する処分場概念」、さらに次段階の検討に必要な技術についての「技術開発計画」といったブロックで概念化した場合のイメージを図 3.3-1 に示す。

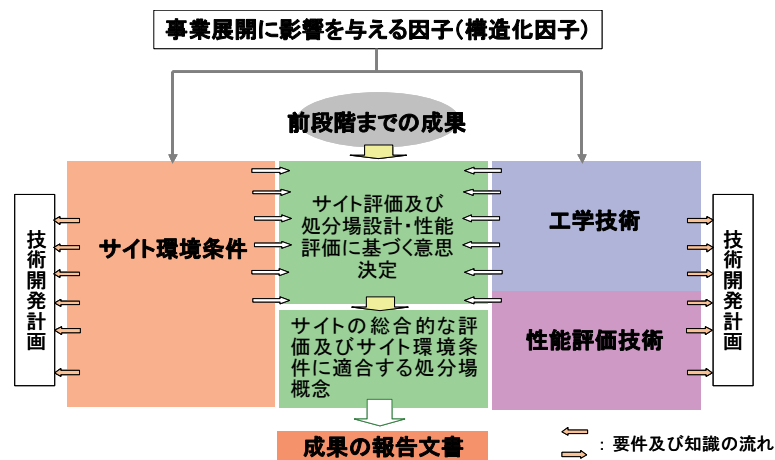


図 3.3-1 サイト選定段階における処分場概念構築等の流れ（概念）

ここで、事業段階の進展もしくは 3.3.2 に示すような外的条件の変化に伴い「構造化因子」が変更

されるときの影響を考えると、まず、構造化因子の変化に対応してサイト環境条件や工学技術、性能評価技術の内容のそれぞれの変更がなされ、それらに基づく意思決定の中で要件が見直される。なお、外的条件変化への対応は 3.3.2 で、意思決定の構造と要件の関係は 4.2 で論ずる。

サイト選定段階においては、上記の進め方が調査地区に対して行われることとなる。この構造化された手法により調査地区での適格性等に関する相対的な比較が容易となり、意思決定の一貫性やプロセスの透明性を確保する上でも重要な役割を果たす。

図 3.3-1 に示された NSA の基本的なプロセスは、サイト選定段階のほか事業全期間を対象とした様々な段階（建設・操業・閉鎖段階）に展開できる一般性を有している。その例を図 3.3-2 に示す。

図 3.3-2 は、概要調査地区選定段階に加え、事業許可段階及び閉鎖段階の 3 つの時間断面への展開例を示したものである。このプロセスはまずサイト選定の各段階毎、実際に行われることとなる。さらに最終処分施設建設地に選定されたサイトの地質環境等の条件（サイト環境条件）に対し工学技術・性能評価を適用し、事業許可申請段階ではサイト選定段階に比べより一層詳細な検討が進められるが、この基本的な考え方はサイト選定段階とほぼ同じであり、検討内容は事業の段階が進むにつれさらに詳細化していくと想定される。例としてあげた事業許可申請段階では、既にある程度固まっている基本的処分場概念に対して、設計の再評価及び処分場概念の具体化が実施され、成果として法令や指針類に基づいた処分事業の事業許可申請書が作成される。この後、最適化され具体化（設計、建設）された処分場を用いて事業が進められる。そして、閉鎖段階では建設中に取得されるサイト環境条件や操業時に得られる様々な情報等を用いて、設計や操業の品質の確認を行い、閉鎖措置計画が作成され、経済産業大臣の認可を受ける。

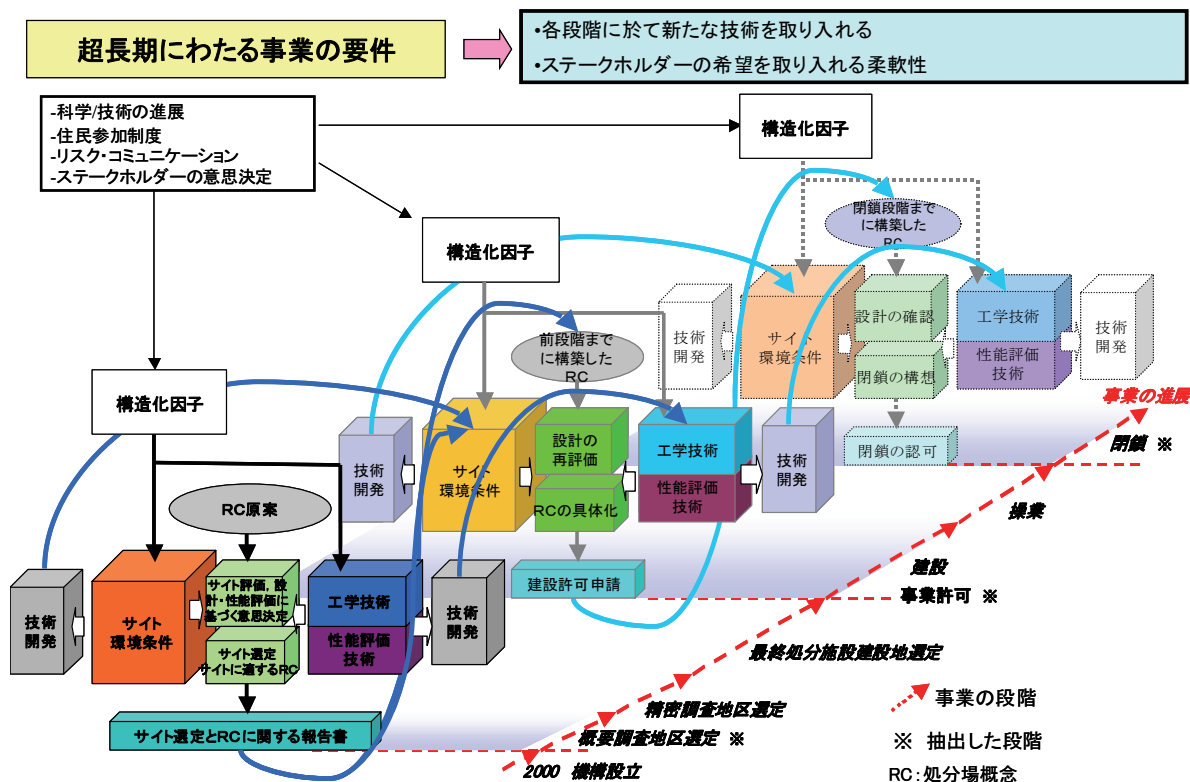


図 3.3-2 NSA の事業全期間への展開（北山，2005 を一部修正）

事業全期間に NSA を展開していくということは、段階毎の NSA による処分場概念や技術開発等の成果を次の段階に繰り返し反映していくことを意味する。この過程を具体的に考えると、処分場概念等の成果は次の段階の検討対象の原案に反映され、次の段階で評価・活用されるサイト環境条件・工学技術・性能評価技術のための開発課題に対しては、次の段階に至るまで研究・開発が進められ、具体的な意思決定に反映されることとなる。建設、操業時における地質環境の主要な評価対象は、処分施設のごく近傍が中心になると予想されるが、この時点になって機構が進める技術開発は、施設近傍の地質環境条件に配慮した合理的かつ経済的な事業遂行に資するものが中心となっているものと考えられる。このことから事業進展に応じた各段階の検討内容に違いはあるものの、あらかじめ検討方針を決定しつつ、地質環境と工学技術・性能評価技術の整合を取りながら柔軟に検討を重ねていく NSA は、サイト選定後の建設、操業、閉鎖を含めたすべての事業段階に適用可能であると考えられる。この間、技術的進展は著しいものがあると考えられ、新技術を処分事業に適切に反映していくことも図中に示されている。

3.3.2 外的条件変化への対応

第2章で述べたように処分事業は非常に長期であるため、将来において地層処分事業をとりまく社会経済的条件の変化や上記技術開発に加え一般的技術の著しい進展が予想される。変化の内容に関する具体的な将来予測は不可能であるが、例えば、廃棄体の貯蔵期間延長や回収可能性の確保に対する社会的な要求が高まることによる処分場設計条件への大きな変化などもその一例に挙げられる。このようないわば「外的な条件」の変化は、NSA 実践の各段階（5～10 年おき程度）での展開途中で内容の大きな修正を迫る可能性があり、NSA はそれに対応できる柔軟性を有することが重要となる。この概念を図 3.3-3 に示す。このことは、各段階での NSA 実践期間（5～10 年）の途中にも必要に応じて構造化した内容の再検討（例えば、構造化因子の内容の変化、重要度の変化や構造化因子そのものの構成の変更による具体的な内容の再検討）があり得ることを意味する。

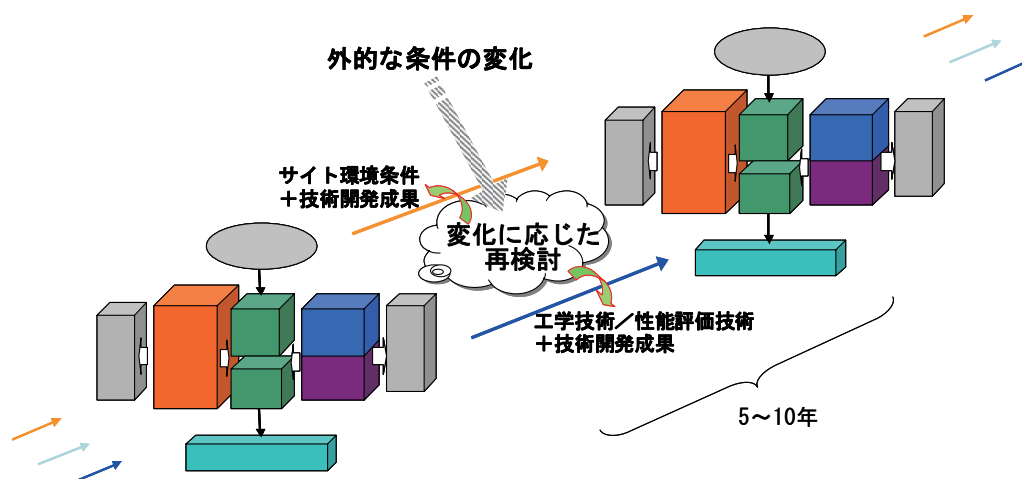


図 3.3-3 事業の段階間における外的条件変化への対応

外的条件の変化に伴って「構造化因子」の構成や重要度等が変化した場合、NSAでの具体的な検討

がどのように展開されるかを以下に例示する。

構造化因子の大きな変化（または複数の変化）に対し、事業全体にわたる包括的かつ的確な意思決定を直ちに下すことについては多大な困難が伴うと予想される。その場合、まず、技術的な事項（サイト環境条件、工学技術及び性能評価技術）に対する影響の範囲、程度を具体的に把握するとともに、影響の程度に応じて各技術的事項の当該箇所に適切な変更を加えることが重要となる（図3.3 - 4参照）。これら影響の範囲、程度は各段階ごとの変化の度合いより大きくなる場合もありうる。

大きな条件変化の一例として「概要調査地区の内側に文献調査では見つけられなかった活断層が確認された場合」を考えてみる。この場合、概要調査地区が活断層を含まないように再設定することは当然であるが、地質環境の長期安定性に対する影響の観点から新たな活断層の影響も含めた再評価が必要となる他、地上・地下施設の耐震安全性の観点や周辺岩盤の力学的、水理学的変化に伴う多重バリアシステム性能の観点から、新たな活断層の影響も含めて再評価する必要性が生じる。図3.1-1の「サイト環境条件に関する情報」（左側のブロック）に示された項目の中では、新たな活断層の発見に伴い「主要断層／リニアメント」に関する情報が更新される他、「地質構造」、「岩盤力学・温度」及び「水理」の各項目に関する情報が更新される。一方、図3.1-1の「工学技術／材料学的条件」（右側のブロック）では「断層等からの距離」、「候補岩体設定のガイドライン」、「温度／力学制約条件の評価」、「処分場設計に関する水理学的評価」及び「化学的制約条件の評価」の各項目に関する情報が更新される。より具体的な評価の例では、「サイト環境条件」に関しては、活断層を避けるために活断層の詳細な分布位置や活動性の評価が必要となる。また、「工学技術」に関しては、活断層による地震動の再評価等が行われる。さらに「性能評価技術」に関しては、活断層による周辺岩盤特性への力学的、水理学的変化・影響を再評価することとなる。以上のように、活断層の新たな発見に伴い、技術的な事項（サイト環境条件、工学技術及び性能評価技術）に与える影響の範囲、程度を特定する必要性が生じる。

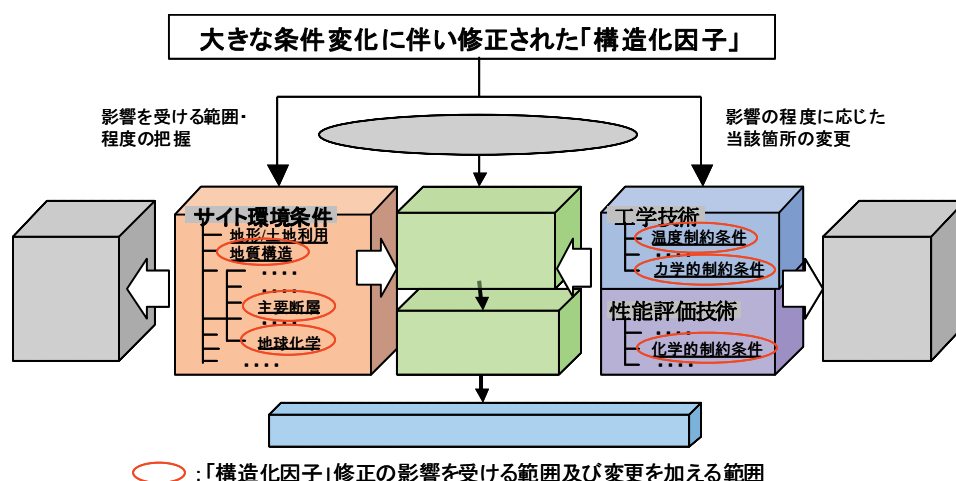


図3.3-4 条件の大幅な変化に伴う「構造化因子」変更の影響範囲の特定と反映

次に、これら技術的事項の変化を全て抽出・反映した後は、再度、図3.1-1や図3.3-1に示したNSAの意思決定プロセスにしたがい、意思決定すべき事項やその要件を再構築する（図3.3 - 5の中心部参照）。

このプロセスを各段階で繰り返すことにより系統的な意思決定を容易に行うことが可能となる。さらに技術的事項に関する意思決定の結果を、より上位の意思決定や社会的事項等に関する意思決定と結合し、必要に応じて見直しを行う。なお、「構造化因子」の変化が小規模の場合には上記の手順を踏まずに直ちに意思決定することも当然ありうる。以上のようにNSAは過去の経験・基盤を生かしつつ、将来の新たな課題に挑戦する戦略的アプローチの実践形であると考ええる。

再び図3.1-1の中心ブロックを例に、大きな条件変化の一例として概要調査地区の内側に活断層が見つかった場合を考えてみる。新たな活断層の発見に伴い、まず第一に地質環境の長期安定性の観点からサイトの適格性が損なわれることがないかという評価がなされる。サイトとしての適格性を確保できる見通しが確認された後、活断層の詳細な位置を考慮して、処分施設建設用地の修正案を検討するとともに、水理学的な条件の変化に伴い、地下施設の深度、処分パネルのレイアウトに関する処分場の設計や性能評価を再度行う。これらの条件を元に最適な処分場概念への見直しや場合によっては別のオプションの開発へと進む場合も考えられる。

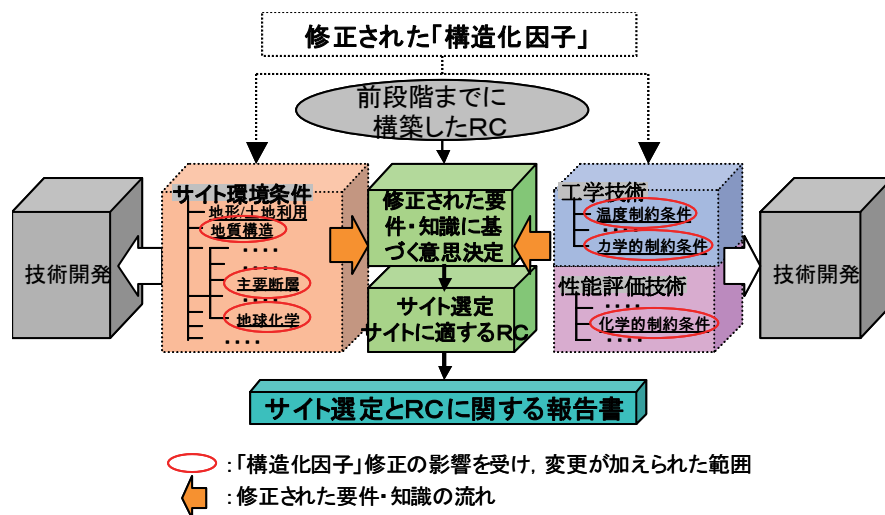


図3.3-5 「構造化因子」修正の影響を反映した後のNSAによる意思決定の流れ

一方、各段階の間において、1, 2年の短い期間でも個別業務もしくは技術開発の進捗に伴う「技術の蓄積」を適切に取り入れ、上記の構造の中でその成果（進捗）を事業及び処分場概念構築に反映するとともに、次の段階で再度NSAを詳細化・具体化する際にそれらの変化を反映していくことは、長期的観点のみでなく短期的視野に立って具体的な技術開発を適切に進める上でも重要となる。この場合、変化の傾向（何がどのように変化したか）を把握し、それによって主要な判断・意思決定が必要かどうか、初期に把握することが重要となる。

例えば、処分システムの構造部材への新規材料の適用性、新たな操作システムの概念などの評価を適宜行いながら、計画を進めるということが考えられる。そして、複数の技術や概念オプションが重要度及び優先度に応じて並行で検討されながら、技術開発の進展や段階的に詳細化されるサイト環境条件を元に、サイト特性を考慮した合理的な意思決定に基づき最適なオプションを選択していく。第4章で述べる要件管理においては、これらオプションの選定過程・根拠を適切に記録・管理し、追跡性を確保することも重要となる。図3.3-6は、最適な技術や概念オプションの選択の様

子を示すものであるが、ここで肝要なことは、ある時点では採用されなかった技術や概念オプションについても、その理由も含めて意思決定の記録がなされ、将来の技術の進展や外的要因の変化等への柔軟な対応を視野に入れ管理することであると考ええる。

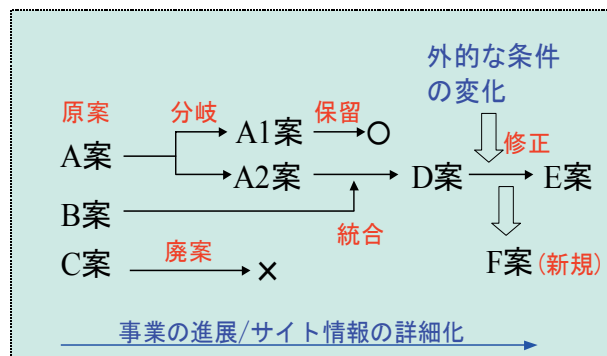


図 3.3-6 最適な技術や概念オプションの選択と不採用案の維持

さらに、段階的に進められる地層処分事業では、「段階を戻すことが出来る」という「可逆性」の概念を取り込むことにより、計画の柔軟性をより向上させる概念の検討が、特に海外を中心になされている。NSA ではこの「可逆性」という概念に対しても対応は可能である。

3.4 従来型マネジメントモデルと NSA モデルの比較

ここで、一般の営利企業で行われているいわゆる従来型マネジメント手法が、地層処分事業を適切に管理する手法として適用可能かどうかという観点から、一般の企業での従来型マネジメントモデルと NSA モデルの比較を試みた。その結果、両者の大きな違いは、その事業形態に起因する事業のモデルにあると考えられる。地層処分事業の持つ特徴、即ち長期性、単目的性、長期の財政的基盤の確立性等を考慮したモデルを一般の従来型マネジメントモデルと比較し整理してみると表 3.4-1 のようになると考えられる。比較においては、①モデルの内容（意思決定のモデル化、プロジェクトの繰り返し性等）、②時間的、広域的なモデル規模、③モデルの変化への対応（一貫性と柔軟性）の3点に着目した。

表 3.4-1 一般の営利企業と地層処分事業におけるマネジメントモデルの相違比較

項 目	一般の営利企業のマネジメントモデル	NSA でのマネジメントモデル
①モデルの内容	上位と下位で分離された複数のモデルで構成され、下位のみで部分最適化されていることが多い	組織末端の意思決定プロセスまでを一貫して定義し、意思決定のメカニズムをもモデル化
②時間的規模	3～5年（ひとつの戦略単位）	数十年～100年
③モデルの継続性	モデルの効力は数年程度で、それを超える期間、モデルの継続性を考慮する例は少ない	変化する業務モデルを継続してタイムリーに実現化し、過去のモデルの変化とそのモデル下において実施された実業務成果を解析・再構築できる構造を有する

①について、従来型マネジメントモデルの多くは初期段階にトップによって設定されているものは稀で、事業運営とともに下位の組織が自らの部分最適化を目的として発生するモデルにより構成されると考えられる。これらのモデルの特徴は「特定の目的を指定期間内に指定資源内で完遂する、繰り返し性の少ない活動」を対象にしていることに起因すると考えられる。一般の企業の経営は、「組織モデルの設定、組織への投資配分、組織の投資効率の評価」までは実施するものの、業務レベルでのモデルは組織長以下が部分最適化として作成することが多い。そして、一般の企業のマネジメントモデルは、分離された複数のモデルから構成されており、部分的にはモデル化されていないところも多い。上位、下位のモデル間では、完全に意思が伝達されているとは限らず、上位の意思が誤解されたまま下位のモデルを構成している例も少なくない。むしろ、そのモデルの一貫性が欠けていることが、企業における柔軟性を生み出すメリットとなる場合も考えられる(森川他, 2007)。

一方、NSA は事業全体のミッション構造から始まり、階層的に、組織を構成する最小単位である個人の意思決定プロセスまでもをコヒーレント（一貫性を持って）に定義しようとしている点が大きな特徴と言える。機構は、事業の目的が末端の業務にまで一貫性を持って浸透するように一つのモデルで事業全体を定義しようと考え、NSA のモデルは、統合されたモデルで事業戦略からオペレーションまでを表現しようと考えている。

また、NSA が内包しているモデルは、経営システムにも関わらず、意思決定のメカニズムまでもモデル化しようとしている点であるといえる。一般的な経営システムの中でも、もっともモデルとして完成度が高いと思われるプロジェクト管理モデルでも、組織末端の意思決定プロセスまでもマネジメントしようとするモデルは見当たらない。プロジェクト管理モデルは、プロジェクトの期間内にその効力が限定されており、長くても数年で閉じられている。(継続性はほぼ担保されていない。)

②について、一般の企業の多くは、通常3年から5年をひとつの戦略単位時間としているのに対し、NSA は、数十年から100年規模の長期に渡って、たとえモデルが変化したとしても、過去の意思決定の理由を解析するためにモデルの変動履歴を加味した情報の蓄積を意図している。

さらに、NSA は、ある時点での業務モデルを構造化するだけでなく、継続して変化する業務モデルをタイムリーにプロジェクトマネジメントに取り込み、かつ過去のモデルの変化とそのモデル下において実施された実業務成果を、モデルの変化とともに振り返って解析できるような構造を目指しているところに特徴がある。NSA は、数十年から100年の期間にて、過去に実施した全ての意思決定から必要なものを再利用できる構造を目指している部分が従来のモデルとの大きな違いといえる。NSA は、過去の意思決定プロセスを極めて正確に、階層的にかつ詳細な意思決定プロセスまで当時のモデルごとと再生しようとしている。その再生機能により、将来の機構の意思決定者は過去の意思決定プロセスをブラックボックスではない状態で確認することが可能となる。かつ、それが確認、解析できることにより、状態が変化した将来の段階において、状況に応じた適切な新モデルを創造しやすくすることができる。変化に応じて最適化された新モデルを含む意思決定プロセスは、実業務において即座に効果を発揮することが期待できる。以上のように、NSA は、意思決定プロセスを「目に見えるようにすること」と意思決定プロセスの継続的改善（プロアクティブを含む）を盛り込もうとしている。これは従来のプロジェクト管理モデルではあまり注目されなかった点である。

3.5 構造化アプローチの役割と実践

以上に述べたように、NSA の考え方を事業の全期間で適用することにより、長期にわたる事業期間を通して技術や意思決定の一貫性を保ちつつ、技術の進歩及び社会経済的要因の変化にも適切に対応していくことが可能となる。ここでいう技術の進歩には、地質環境評価、処分場設計、性能評価といった個々の分野における技術のみではなく、地層処分の長期安全性を事業の各段階で系統的に示す内容も含まれる。広範囲にわたり地層処分の安全性を示す概念をセーフティーケースと呼ぶことがある。NSA は各段階で最新の技術を用いたセーフティーケースを示すことが可能で、このことはまた NSA を適用する大きなメリットといえる (Kitayama et al., 2007)。

NSA の考え方を具体的に実践していくためには、各段階に応じた適切な「意思決定」を行うこと、階層性を有し時間的に変化しつつ意思決定を支援するための「要件」を明らかにし、それら「要件を充足するための論拠」(知識、データ、情報)や様々な意思決定との相互関係を的確に管理していくことが重要となる。地層処分事業を実施するための科学・技術は多岐の分野にわたることから、これらの的確な管理を支援するためのソフトウェアが必要と考える。これに対し、次章では、要件管理システムの開発に向けた基本的な考え方を論ずる。

第4章 要件管理の基本的な考え方

第3章で述べた NSA の実践においては、長期にわたる事業の全期間において、技術や意思決定の一貫性を保つための的確な支援システムが必要となる。そのシステムを構築するため、まず、各段階においてなされる意思決定の階層的な構造（マクロな構造）を分析する。具体的には、機構全体の意思決定、技術部門内での意思決定、各専門分野での意思決定を階層的に捉える。次に、その階層的な構造の中で、意思決定事項、要件、要件を充足するための論拠がどのような相互関係（ミクロな構造）を有しているかを分析する。この意思決定プロセスにおける要件を構造化することにより、知識も含めて適切に管理できるシステムを構築することを目指す必要がある。本書ではこの体系的な管理を「要件管理」と呼び、そのためのシステムを要件管理システム（Requirements Management System）（以下、「RMS」という）と定義する。

本章では、意思決定の階層構造、局所的な意思決定の構造を示し、それらを基に要件を体系的に整理する考え方とこれまで構築した技術基盤の活用方法について論ずる。

4.1 意思決定の階層構造と NSA

図 2.1-1 に示すとおり、処分事業の事業期間は 100 年あまりの長期にわたる。NSA を事業全体で展開する場合、概要調査地区選定、精密調査地区選定及び最終処分施設建設地選定等といったプロジェクトレベルにおける最上位の意思決定から、サイト地質環境評価、処分場設計・性能評価などのサブプロジェクトレベルにおける細分化された意思決定まで、様々な意思決定が適切な判断に基づいて行われる。また、最上位の意思決定における判断は技術的事項を総合的に判断するのみならず、立地地域等の利害関係者（ステークホルダー）の意見や各関係組織の意見等、社会的事項も含めて総合的に行われることとなる。これら最上位のプロジェクトレベルにおける意思決定は各部門によるサブプロジェクトレベルの意思決定を積み重ねて構築される場合（ボトムアップ）と、最上位の意思決定が下位の方針を示す場合（トップダウン）の両方が考えられる。実施主体が NSA を実務全体に展開する場合、各階層に応じて意思決定がなされ修正が繰り返される。その概念を図 4.1-1 に示す。

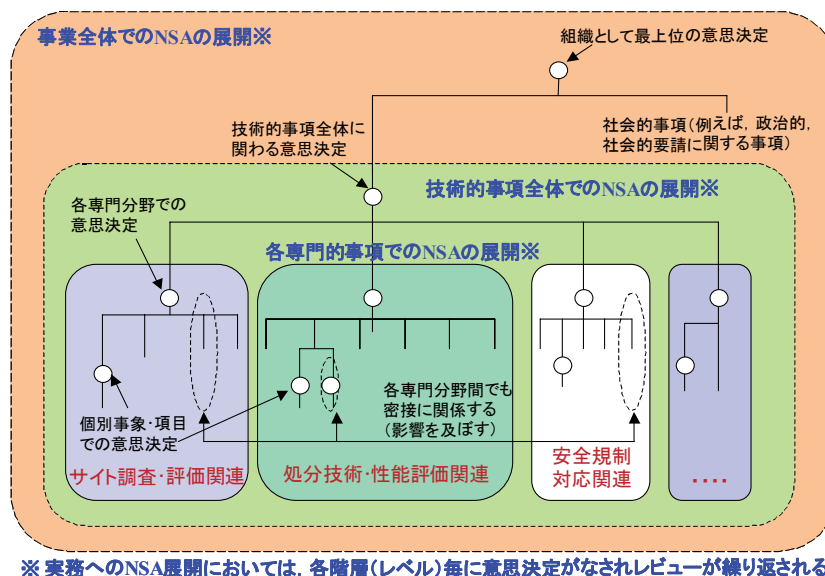


図 4.1-1 意思決定の階層構造と各レベルでの NSA の展開

NSA では、どの階層までの意思決定が必要か、その元となる要件もしくはそれから生じる要件は、それぞれ何か、それらを具体的に判断する情報は何かを常に考えながら進める。従って、機構内の各階層における意思決定と要件管理、品質マネジメント、文書（文献）管理の各対応関係を容易に示すことのできるシステムを構築しておくことが重要である。

これらある段階における意思決定は、各段階毎に進む検討結果を踏まえ、次段階へと進める道しるべとするのみならず、各階層及び部門での業務遂行上の具体的な道しるべになるものとする。当然そこでの意思決定は新たな知見に基づいて行われるべきものであるが、前段階までの意思決定の経緯を十分に参酌すべきであり、それらを一元的に管理することは特に重要である。

4.2 意思決定の構造

NSA の中で 3.3.2 のような外的な条件変化に対して柔軟性を確保するためには、意思決定プロセスを分析し、その分析結果から意思決定プロセスの構造及び構造化された要素を詳しく理解することが重要である。そして、大きな外的条件変化に伴ってそれまでの意思決定事項を見直す必要が生じた場合には、条件変化の影響が及ぶ範囲を特定し、主として構造化因子の影響を具体的に置き換え、それらについて意思決定プロセス、その要件及び意思決定の各要素の構造を再構築し、各要素の再検討を経たのち、改めて NSA の方式に基づいて検討をやり直すこととなる。NSA はこの複雑な作業を見通し良くかつ一貫して行うことが可能である。

図 4.2-1 には「意思決定の構造」の一例を示す。ここでは「概要調査地区の選定」を例に意思決定の階層構造の一部を特に技術的な側面に限定して表している。

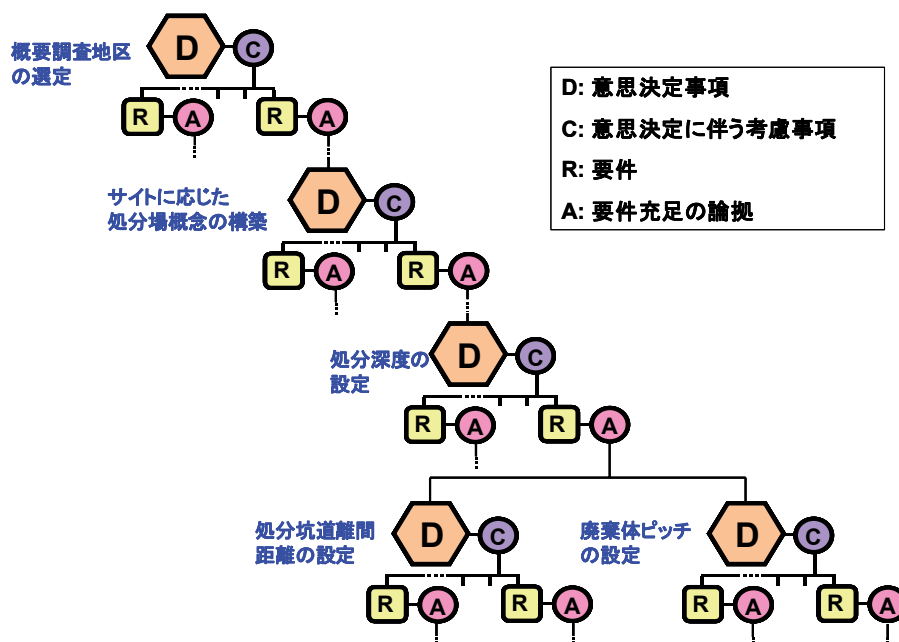


図 4.2-1 「意思決定の構造」の一例

まず、意思決定という観点で見ると上位の意思決定から下位の意思決定まで階層的に関連付けら

れる。このうちひとつの意思決定事項（D）に着目した場合、トップダウン的視点から見ると、意思決定に当たってはいくつかある要件（R）をどのように考えたか、それぞれの要件の充足度は十分であったか、社会的要件をどのように配慮したか、過去の判断との差異はどの程度のものであったかなどを具体的に示した考慮事項（C）が存在する。意思決定やそれを支える考慮事項には、決断のためにいくつかの満たされるべき要件が提示される。さらに各要件充足に当たっては、その論拠・証拠（A）などができるだけ具体的に示される形で整理されていることが必要となる。

例えば、「処分深度の設定」という意思決定（D）を例にすると、最終処分法に示される「地下 300 m 以深」という制約条件が最優先の要件（R）であり、その他にも、①坑道の安全な掘削が可能であること、②地下水の流量・流速が小さいこと、③緩衝材の制限温度を下回ること、④廃棄体を収容できる大きさの母岩が存在すること、⑤還元性環境の確保等が要件（R）となる。そして、各要件に対して優位な深度及び経済性を考慮し総合的に判断するということが「処分深度の設定」という意思決定の考慮事項（C）と考えられる。さらに、各要件に対しては、①空洞の安定性、②地下水の流量・流速、③緩衝材の温度、④母岩の収容能力、⑤酸化・還元環境が各要件を充足している論拠・証拠（A）が準備される。

ただし、意思決定の構造は単純な階層構造ではなく、別の「枝」の意思決定が他の「枝」の要件となるというネットワークの性質も持っている。例えば、図 4.2-2 に示すように、サイト選定に向けて「サイトに応じた処分場概念の構築」という要件の他に「地質環境の長期安定性評価」という別の「枝」の要件を一緒に考えた場合、図 4.2-2 の中段で前者の観点の「処分深度の設定」という意思決定については、上記の要件（地下 300m 以深及び①～⑤）が考慮される一方で、後者の観点からは隆起・侵食の速度が考慮されなければならない。この点は本来、初期の深度検討でも概略の隆起・侵食量を考慮しているものと想定されるが、調査の進展に伴いサイトの隆起・侵食量を大幅に修正する必要性が生じた場合、この結果を反映して再度、深度の設定を行うこととなる。

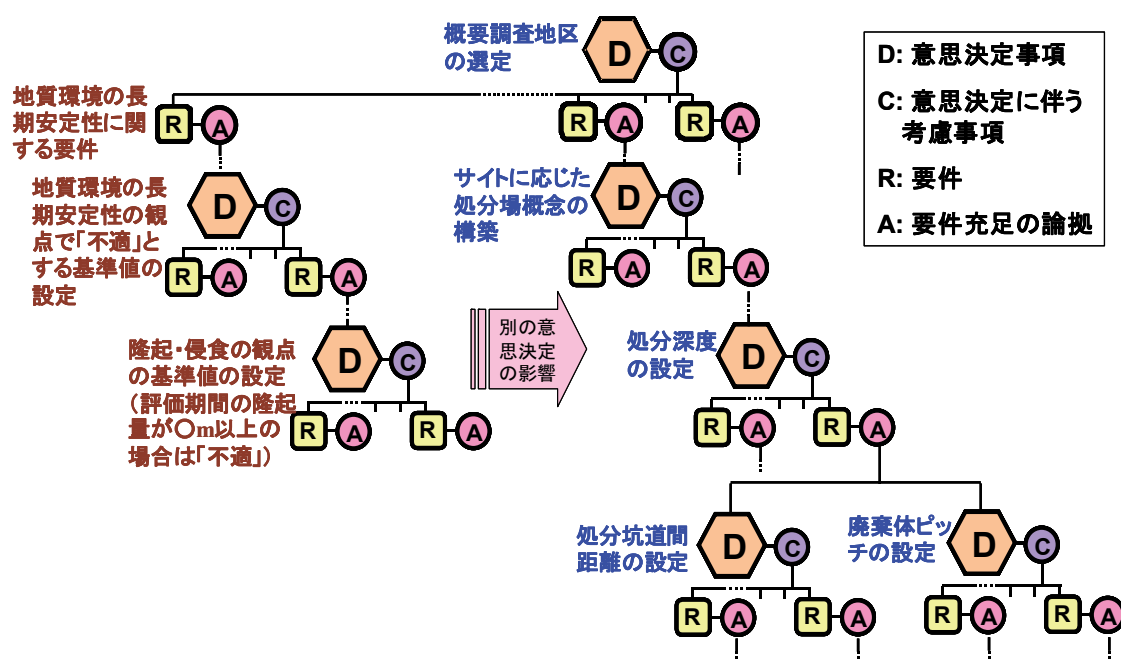


図 4.2-2 検討段階における別の意思決定の影響も含めた意思決定構造の一例

このように意思決定の構造を理解するには、これらの性質を分析することが鍵となる。すべての意思決定がなされる各段階の終了時点においては、図 4.2-2 の構造において複数の「枝」の関係が整理され影響が考慮されることにより（考慮事項に整然と記述されることにより）、図 4.2-1 は修正を加えられ、より単純化された構造にすることが可能となる。このように検討の途中段階では、当初想定していなかった検討項目（別の枝）に対する意思決定事項についてもその都度影響を評価することが重要となる。4.3 で構築する意思決定プロセスにおける要件管理においては、この意思決定の構造を理解し、相互関係を適切に保ちつつ構築・運用していくことが重要となる。

4.3 意思決定プロセスにおける要件管理

4.3.1 要件管理の必要性

本章の冒頭や前節でも述べたように、本書で定義する「要件管理」は、「意思決定事項（D）」を中心に、「要件（R）」と「要件を充足するための論拠（A）」及び「意思決定に伴う考慮事項（C）」を一緒に管理する最小単位とし、それらを階層的にかつ相互の関係を体系的に把握しながら管理することと定義する。

前章までに述べたように NSA では、サイト環境条件や工学技術・性能評価技術に関する「情報」からサイトを選定するもしくは処分場概念を具体化するプロセスを経ることとなる。そのプロセスにおける個々の意思決定においては様々な「要件」が考慮される。例えば、個別の情報をういたサイト候補地の適格性に関する評価や、地下施設設計の個別具体的な意思決定（判断）、あるいはこれら個別の決定要素を組み合わせたサイト特性の総合評価や処分場全体の設計といった上位の意思決定において所要の「要件」が考慮される。図 3.1-1 や図 3.3-1 では中心の欄に向かう矢印と中心の欄で下へ向かう矢印の中で、それぞれの意思決定に対応していくつかの「要件」が考慮されるものと考えられる。

このような「要件」と「情報」の組み合わせによる「意思決定」の構造を予め把握し、「要件」、「情報」及び「意思決定事項」を一緒に管理しておけば、前章で述べたような社会経済的条件の変化や技術開発の著しい進展などによる「外的な条件」の変化にも、これらの「要件」や「情報」の組み合わせを変更する等の方法により、柔軟に対応できると考えられる。意思決定の階層の下部においては、管理すべき要件項目が単一の要件で構成されている場合も想定され、ある要件を充足することと意思決定とが 1 対 1 に対応する場合もあるということに注意しておく必要がある。地層処分に関する一般的な知識や情報を体系的に管理する「知識管理」については、現在、日本原子力研究開発機構が知識基盤を構造化する「知識管理システム」の開発を進めており（核燃料サイクル開発機構、2005）、このシステムが実施主体の知識基盤の一部を担うことが期待される。ただし、実施主体が行う「要件管理」では、「知識」や「情報」は実施主体の意思決定や要件に対応するものに絞って管理されるものの、それらの体系は上記の「知識管理システム」や一般的な知識の体系と比較した場合、網羅的かつ体系的になるとは限らない可能性がある。このことは特定のサイト環境条件で意思決定を行う実施主体が管理する知識体系は、初期の一般的な検討事項を除き、当該サイト（応募区域）の環境条件に沿った体系になるということを意味する。

なお、「要件管理」あるいは「（顧客の）要求管理」といった用語は、一般的にはソフトウェア開発の分野で主に用いられ、他に軍事技術など様々な分野で適用されている。非常に複雑になった最近のソフトウェア開発では、顧客が求める要件を正確に把握するとともに、要件に応じたソフトウ

エアを開発し、もしも開発中に要件の変更があった場合でも、影響範囲を正確に見極め、変更された要件に適合できるソフトウェアに改良するために、要件を正確に把握・管理する手法・ツールが整備されている。

地層処分事業においても、その実施に当たっては、幅広い学問分野にまたがる科学・技術を必要とし、処分システムの性能を評価する期間に対し、地層・岩盤といった不均質性・不確実性が常に伴う自然を含み、空間的に非常に広い範囲を扱う複雑なシステムを対象とする。さらに、事業は非常に長期にわたるため、事業を適切に遂行する過程でなされる様々な意思決定を適切に行っていくには「要件管理」が重要であると考えられる。4.3.2以降ではこの「要件管理」を行うしくみ、つまりRMSに関してこれまでに検討している概要を紹介する。

4.3.2 RMS の開発

(1) 要件の定義

機構が事業を推進していく上で考慮すべき「要件」(requirements)のタイプは多種多様である。例えば、立地地域の住民などからの要求や利害関係者(ステークホルダー)から事業に対する理解を得るために必要な条件、安全・確実に地層処分事業を進めるための機構及び処分場に関する要求事項などがある。また、最終処分法や事業の推進において関連する法令、立地地域の自治体が定める規制・条例、安全確保のために法律とは別に制定される規制、安全審査指針、処分場の技術指針、最終処分に関する国の基本方針・計画(スケジュールを含む)、原子力委員会や原子力安全委員会などの方針、監督官庁や規制当局からの制約条件(constraints)も機構にとっては重要な「要件」となる。処分費用の観点からは電気事業者らの拠出金を有効に活用し、経済的合理性を有した事業展開を進めることも重要な要件である。対象廃棄物の種類や性質、サイト環境条件なども処分場を設計し安全を確保する上で考慮すべき重要な前提条件と考えられ、これらも含めて考慮すべき「要件」は非常に多岐にわたる。

さらに、「受動的なシステムによって処分場を閉鎖した後の長期安全性を確保できること」といった最上位なもの、サイト選定に関する「概要調査地区選定上の考慮事項」、人工バリアに関する「天然バリアとともに多重バリアシステムを構成する」といった基本概念的なものから「緩衝材設計要件」、「地下施設設計要件」といった個別具体的なものまで、「要件」は階層性を有する。これらの階層性は機構が構築中の自主基準(次頁参照)とも整合し、要件管理のうち特に重要なものは自主基準の一項目としても定義される。

上記の多岐にわたる階層的な「要件」を整理する際、

- ・ 組織としての要件
- ・ 安全・確実に地層処分事業を進めるための技術的要件
- ・ 処分システムの要件

といった視点で整理することも考えられる。これらは先に4.1で述べた各階層でのNSA展開と整合的に説明することが重要となる。上記三つの視点に関する主要な要件については付録に例示する。

(2) RMS 開発で考慮する機構の技術基盤

処分事業におけるサイト選定、処分場建設・操業・閉鎖といった段階的な事業推進において、実施主体である機構はサイト環境条件の評価、処分場の設計及び性能評価を繰り返し実施していく。これまでこの3つの主要技術業務に対して、それぞれを適切に進めるために必要な技術開発及び技術基盤の整備を行ってきた。たとえば、サイト選定に関しては、最終処分法に示されるサイト選定の要件（法定要件）などを基に「概要調査地区選定上の考慮事項」（原子力発電環境整備機構，2002a）

（以下、「考慮事項」という）を定義した。次段階以降も同様な考慮事項が設定され、構造化された手法として実践されることとなる。また、考慮事項に示された個々の事項に対し、サイトとしての適格性を評価するための解析・評価の手法を開発するとともに、情報やデータを適切・確実に管理するためのデータベース（例えば、地理情報システム；NUMO-GIS や文献情報整理 DB，解析・評価 DB からなる「地質環境データ管理システム」など）を準備した。さらに、文献調査から概要調査地区選定に関わる一連の作業（文献その他資料の収集、整理・分析、評価）を計画的かつ効率的に実施し、その作業の透明性及び追跡性及び品質保証に資するための「文献調査システム・フロー」を開発してきた。上記データベースや調査システム・フローは、考慮事項と同様に事業の進展に応じて詳細化される情報や境界条件の変化等に対応して適切に更新され、NSA の基で展開されることとなる。そして、サイト選定に当たって応募区域の総合的な比較・評価を客観的、多面的に行うための手法として「多属性効用解析（Multi Attribute Analysis：MAA）」¹⁾や「証拠に基づく意思決定支援理論（Evidential Support Logic：ESL）」²⁾（原子力発電環境整備機構，2004b）などの手法の適用性が検討された。

一方、サイト環境条件に対応する処分場の設計・性能評価を繰り返すことにより構築される処分場概念に関しても、「設計因子（Design Factor）」が定義され（Umeki et al., 2003；Ueda et al., 2004），さらに構造化因子として対象とする範囲が広がっている。これについては3.2 節に述べたとおりである。そして、サイト環境条件に応じた処分場の設計や性能評価を体系的かつ効率的に行える計算機支援型の「処分場概念構築システム」（原子力発電環境整備機構，2004b）を開発している。また、事業を現実に進めるという観点から、処分場概念に関する practicality（実用性）の検討や特定サイト条件での試設計（サイト環境条件を考慮した工学技術の適用と性能評価の実施）を行い、サイト選定初期段階の実務及び種々の検討に役立てている。

さらに、安全評価の結果は、将来の策定が予定される地層処分の安全規制によって評価されることになるが、その規制策定に先駆けて、初期の段階から機構の行動規範となる「（安全確保の）自主基準（Working Standard）」の構築に取り組んでいる。これは事業段階に応じて進化するとともに各段階のサイト選定、処分場概念構築、処分場建設、操業、閉鎖等に当たっての自主基準として改良が重ねられる。また、安全確保に必要な各種情報のリレーショナルデータベースによる主要な知識・情報の保管機能の確保を目指すとともに利害関係者（ステークホルダー）とのリスク・コミ

¹⁾ 多属性効用解析（Multi Attribute Analysis：MAA）：ある条件の元に解析を行い与えられた命題について総合評価を行うための解析手法。例えば、場所、地質環境、処分場概念といった条件に対して最も適している処分場サイトを得るといった命題を与えることにより、概要調査地区の選定という意思決定問題に対し、評価ツールとして適用できる可能性がある。

²⁾ 証拠に基づく意思決定支援理論（Evidential Support Logic：ESL）：階層プロセスモデル（樹形図）を用いて判断の過程を整理・明確化し、区間確率により命題や証拠に伴う不確実性を把握し、これを定量化して扱うための手法。

ユニケーション手法の開発にも取り組んでいる。これらは将来、RMS と相まって、機構の事業推進にとって重要な役割を果たすものと期待される。

そしてこれらを含め、すべての技術業務、作成する技術資料及びデータベース等の高い品質を確保し、規制当局を含む利害関係者（ステークホルダー）等の要求に適切に対応するための QMS を開発・運用している。もちろん NSA や RMS もこの QMS と密接に関わりながら開発されるものである。これらのイメージを図 4.3-1 に示す。

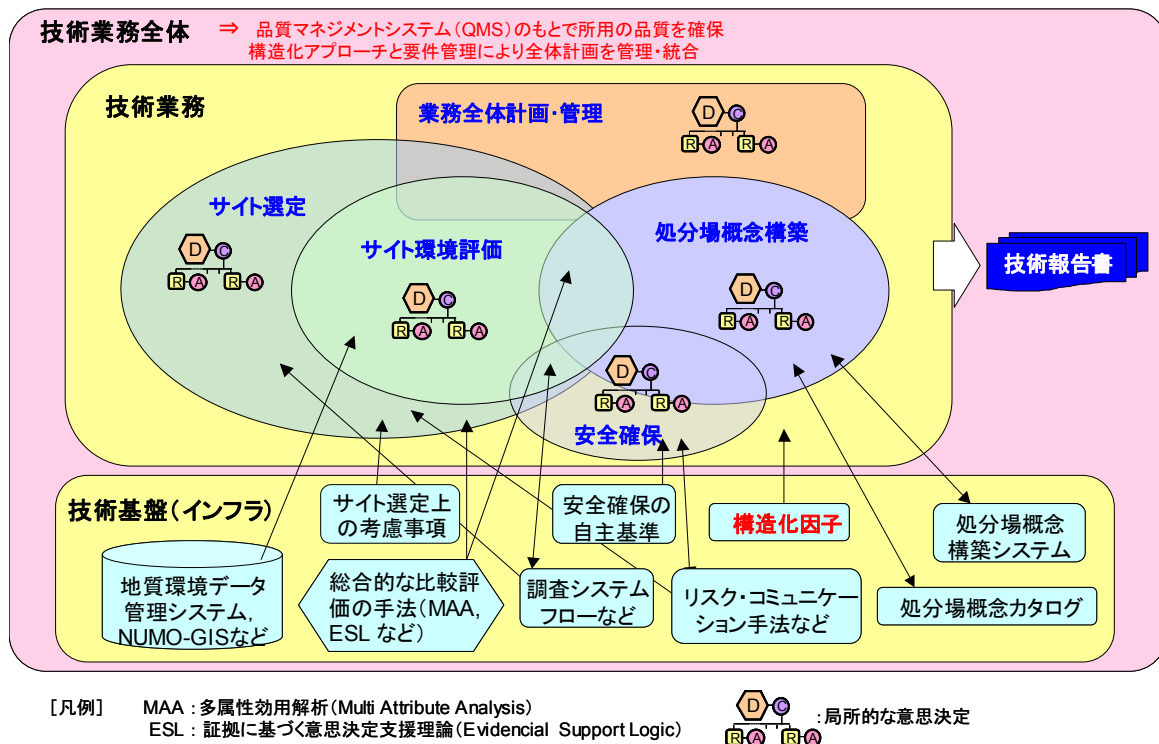


図 4.3-1 機構の技術業務の全体像

以上のように、機構はサイト選定、処分場概念構築及び安全確保の自主基準策定などを各々適切に行っていくための基盤（インフラ）、体制等の整備に取り組んできた。各業務のプロセスでは多岐にわたる階層的な「要件」が明らかにされ、そのための基盤を各業務（サイト選定、処分場概念構築、安全確保の自主基準策定）で確実に整備していくことが第一に重要となる。さらに重視すべき課題は、①主要な技術業務における連携を適切・確実に行うこと、②そのためには主要技術業務に対して準備された技術基盤（インフラ）が適切に連携しながら整合性を保っていることである。具体的な例を挙げると、①に関してはサイト調査・評価と処分場設計・性能評価で用いられる地質環境データの統合（Geosynthesis）などが重要であり、②では考慮事項、調査システムフロー、地質環境データ管理システム等が適切な関係・リンクを保ち、一連で効果的に機能していることなどである。これらに関する適切な管理のための仕組み、チェック機能を有した体系を整備し、運用していくことが非常に重要である。

(3) RMS 開発の目的

地層処分に直接関わる知識や周辺の科学・技術は多岐にわたり絶えず進歩することから、それら

最新の知見を実施主体が必要とする課題に適切に反映し、かつ重要な課題に対して効果的に技術開発を実施していくことは時間の経過とともに困難さを増すと考えられる。これまで地層処分の検討をリードしてきた諸外国では、上記に対し、長年の経験や豊富な知識を蓄積した専門家が高い視野から適切にマネジメントすることにより確保されてきたものと考えられる。また、社会及び立地地域からの要求など、外的条件の大きな変化などへの適切な対応が求められるとともに、世代交代や要員の異動・転勤といった現実問題を考慮すると、卓越した専門家でなくとも適切に管理できるような体系化もしくはシステム開発の必要性が極めて高くなる。

NSA 開発の狙いは、第 1 章の 1.1 や第 3 章に述べたとおりであり、その NSA を具体的に実践していくためのツール・手法である RMS の主な開発目的を整理すると以下の事項が考えられる (Sakabe et al., 2005)。

- ・ 意思決定プロセスにおける透明性、追跡性の確保
- ・ 意思決定事項、意思決定における考慮事項、要件、意思決定充足の論拠等の記録保存
- ・ 将来の意思決定の予想・支援
- ・ 意思決定や境界条件の変化に伴う影響が及ぶ範囲の特定
- ・ 必要性や優先度を明らかにした技術開発計画立案への支援

上記の目的に対し、RMS に求められる主な要件は以下のものが考えられる (Sakabe et al., 2005 に一部追加)。

- ・ 意思決定事項や要件の性質が相互に連結し、階層的な性質、横断的な関係が総合的に考慮されること。
- ・ 事業の進展に伴う要件の変化や意思決定修正の可能性に対して柔軟に対処できること。
- ・ 上記の変化について、適切な管理の下、整然と適切に構造化された方法でシステム管理者により受領され記録されること。
- ・ システム利用者（機構職員）が限られた分野の要件や意思決定に関する内容について、入力／編集できるための「権限」の概念が導入され、作業が容易に行えること。
- ・ 慎重な取り扱いを要する情報に対するアクセス制限などの適切な安全策（セキュリティー）が講じられていること。
- ・ 意思決定事項や情報の変化による何らかの影響が生じた場合に、システム利用者（機構職員）からのフィードバックを受容できること。
- ・ 全てのシステム利用者（機構職員）に最新版が一貫して提供されるよう、システム管理者により適切に保管されていること。
- ・ 個々の業務を遂行する上での課題や弱点を顕在化することができ、必要な技術開発のレベルや期間を見える形で示せること。
- ・ 技術開発課題を適切に管理するとともに開発した成果やその過程、履歴を適切に管理できること（数年間の実務を適確に支える、いわゆるプロジェクトマネジメントの機能も有したシ

システムであること)。

上記の要件において特に強調したい点は、図 4.2-1 に示したような意思決定の構造を参考に、それぞれの構造や関係を維持し事業期間にわたり記録できるシステムであることが重要である。例えば、図 4.3-2 に示すように、局所的な意思決定事項 D_i に着目した場合、初期の構造として、それに直接関係する考慮事項 C_i 、要件 R_i 及び要件充足の論拠 A_i がひとつのまとまりで記述されたとする。このひとかたまりの集合は別の意思決定事項や要件などによって様々な影響を受け、その途中段階では各 D_i' 、 C_i' 、 R_i' 及び A_i' の内容や構造・関係が繰り返し修正される。そして最終的な D_i'' 、 C_i'' 、 R_i'' 及び A_i'' の集合が完成するという実務のプロセスが適切に記録でき、履歴を追跡できるという機能が重要と考える。さらに、次段階以降での新たな問題解決に対し適切な情報が必要となった場合、すみやかに情報提供できる機能を加えることが重要である。この過程については、4.2 で意思決定の構造という観点からも述べている。

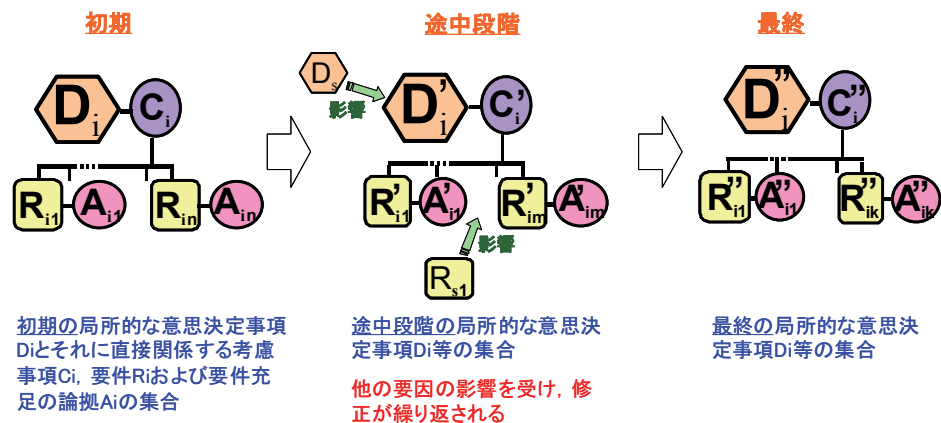


図 4.3-2 局所的な意思決定事項 D_i の修正プロセスに関する記録

第5章 まとめ

上述したように、地層処分事業は非常に長期にわたる事業であるとともに、国民、地元自治体及び住民など利害関係者（ステークホルダー）の理解を得て、当該事業の必要性及び重要性を事業者とともに共有できたとき、はじめて円滑に進められる事業である。技術的側面からは、技術の信頼性を長期にわたって確保していくことが重要である。NSA の概念は、地層処分事業全体として約 100 年にわたる長期間、この技術的信頼性を確保するための重要な手法として考えられたものである。

NSA の考え方を事業で展開することにより、長期にわたる事業期間を通して技術や意思決定の一貫性を保ちつつ、技術の進歩及び社会経済的要因の変化にも適切に対応していくことがより確実になる。検討の中では、立地の初期に想定されるサイトの地質環境条件に適応した処分施設及び人工バリアの設計並びにその性能評価をどのように進めるかの考え方（構造化）、それを約 100 年以上の事業全期間に拡張する方法、それに対応して考慮すべき外的要因への対応など明らかにした。また、NSA の実践では事業の各段階で階層性が考慮され、意思決定プロセスや要件管理の検討の中でも階層を意識した具体論を展開した。

NSA を基本とする各段階での事業遂行においては、いくつかの重要な意思決定が必要となり、そのプロセスに対しては透明性、追跡性が求められる。そこでは、意思決定プロセスにおける各決定事項それぞれに対応した要件が個別に定義・検討され、意思決定に至った経緯を明確にしていくことが重要である。もちろん、具体的な検討に用いた情報・知識も透明性等の観点から明らかにしておく必要がある。

特に、NSA は広範囲の地層処分の安全確保の概念に対し、最新の知見を踏まえ、最適な技術を適用していくことを長期間保証していくことを目指す。さらに NSA の持つ階層性と意思決定／要件管理における階層性の構造に着目し一元管理することは、技術的分野のみならず機構全般業務への拡張を可能にすると考えられる。

今後、この一元管理の具体的な手段・ツールとして、ソフトウェアを活用した RMS を構築していく計画である。開発の初期段階として、まずは技術的事項に焦点を当て、地層処分事業に含まれる主要な技術業務の構造、内容、進め方等を分析するとともに、既に機構が整備、改良している他のシステムとの連携や、すべての技術的活動に適用されている QMS との一貫性及び整合性に留意して進めることが極めて重要である。

参考文献

- 土木学会（2001）：「地層処分と地質環境」概要調査地区選定時に考慮すべき地質環境に関する基本的考え方，土木学会原子力土木委員会地下環境部会，2001年8月。
- 原子力発電環境整備機構（2002a）：公募にあたって～高レベル放射性廃棄物の安全・確実な処分に向けて～，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料，2002年12月。
- 原子力発電環境整備機構（2002b）：応募要領，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料1，2002年12月。
- 原子力発電環境整備機構（2002c）：処分場の概要，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料2，2002年12月。
- 原子力発電環境整備機構（2002d）：概要調査地区選定上の考慮事項，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料3，2002年12月。
- 原子力発電環境整備機構（2002e）：地域共生への取り組み～地域と事業を結ぶために～，高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料4，2002年12月。
- 原子力発電環境整備機構（2004a）：高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性，「処分場の概要」の説明資料，NUMO-TR-04-01，2004年5月。
- 原子力発電環境整備機構（2004b）：概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠，「概要調査地区選定上の考慮事項」の説明資料，NUMO-TR-04-02，2004年6月。
- 技術アドバイザー国内委員会（2003）：（技術アドバイザー国内委員会審議結果，原子力発電環境整備機構技術アドバイザー国内委員会，2003年5月8日。
- 稲継成文，竹内光男，加藤俊明，大久保博生，柳川玄永（2006）：HLW処分事業の円滑化方策に関する研究－HLW処分事業におけるリスクコミュニケーション手法の構築－，日本原子力学会2006秋の大会，2006年9月30日，札幌。
- Inatsugu, S., Takeuchi, M., Kato, T. (2006): Public Perspectives in the Japanese HLW Disposal Program, VALDOR 2006, -VALues in Decision On Risk-, 14-18 May 2006, Stockholm, Sweden, pp.82-89.
- 北山一美（2005）：構造化アプローチと要件管理，日本工業新聞社「月刊エネルギー」，2005年12月。
- Kitayama, K., McCombie, C., Ohe, T. (2005a): Strategies for Technical Confidence Building in the NUMO HLW Disposal Programme, International Conference on the Safety of Radioactive Waste Disposal, 3-7 October 2005, Tokyo, Japan.
- Kitayama, K., Umeki, H., Ueda, H., McKinley, I. G., Kaku, K. (2005b): A structured approach for stepwise tailoring of repository concepts to volunteer sites, ICEM'05:1344, The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, 4-8 September 2005, Scottish Exhibition & Conference Centre, Glasgow, Scotland.
- Kitayama, K., Ueda, H., Sakabe, Y., Umeki, H., McKinley, I. G., Kaku, K. (2005c): A structured approach for stepwise design of HLW repositories tailored to volunteer sites, International Conference on the Safety of Radioactive Waste Disposal, 3-7 October 2005, Tokyo, Japan.

- Kitayama, K., Ishiguro, K., Takeuchi, M., Tsuchi, H., Kato, T., Sakabe, Y. and Wakasugi, K. (2007): Strategy for safety case development: Impact of volunteering approach to siting a Japanese HLW repository, OECD Nuclear Energy Agency International Symposium: Safety Cases for the Deep Disposal of Radioactive Waste: Where do we stand?, 23-25 January 2007, Paris, France.
- Kitayama, K. (2006) : NUMO's Winning Team: a goal-oriented approach to gain the confidence of all stakeholders, Radioactive Waste Management, 12 June 2006, London, UK.
- 核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -, 総論レポート, JNC TN1400 99-020, 1999年11月26日.
- 核燃料サイクル開発機構 (2005) : 高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 - 平成17年度取りまとめ - - 地層処分技術の知識化と管理 -, JNC TN1400 2005-20, 2005年9月22日.
- 森川勇治, 石上隆司 (2007) : 日本型PMのためのソフトウェアに関する文化的考察, 国際P2M学会 第2回研究発表大会, 2007年4月27日, 東京.
- Sakabe, Y., Ueda, H., Hyodo, H., Ishiguro, K., Kitayama, K., McKinley, I. G., Kaku, K. (2005): Implementation of a Requirements Management System for the Japanese HLW programme, International Conference on the Safety of Radioactive Waste Disposal, 3-7 October 2005, Tokyo, Japan.
- 通商産業省 (2000a) : 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件, 平成12年10月2日, 通商産業省告示第591号.
- 通商産業省 (2000b) : 特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画を定めた件, 平成12年10月2日, 通商産業省告示第592号.
- Ueda, H., Umeki, H., Konishi, T., Naito, M. and Danda, H. (2004): Design Factors for Filtering HLW Repository Concepts, Proceedings of Disposal Technologies and Concepts (DisTec) 2004, 26-28 April 2004, Berlin Germany.
- Umeki, H., Ueda, H., Naito, M., Konishi, T. and Danda, H. (2003) : The NUMO Approach for Development of Repository Concepts, Proceedings of 10th International High-Level Radioactive Waste Management Conference (IHLRWM 2003), pp.1019 - 1024, 30 March - 2 April, Las Vegas, NV, USA.

付録 「要件」整理の一視点

第4章の4.3.2 (1)「要件の定義」においては、多岐にわたる階層的な「要件」を整理する際、

- ・ 組織としての要件
- ・ 安全・確実に地層処分事業を進めるための技術的要件
- ・ 処分システムの要件

といった視点で整理することを提示した。これらは先に4.1で述べたNSAの階層と整合的に説明することが重要となる。上記三つの視点に関する主な要件を以下に例示する。

(i) 組織としての要件

2.1節に示したように、機構は高レベル放射性廃棄物を安全確実に地層処分する組織として、地層処分事業に対する利害関係者（ステークホルダー）からの安心と信頼を得ることを目的に、

- ① 段階的な事業展開
- ② 地域の自主性の尊重
- ③ 透明性の重視

の3つを基本姿勢としている。

例えば①に対しては、地層処分計画全体にわたって注意深く行われる技術的な管理、利害関係者（ステークホルダー）の関与を確実にするための透明性のある仕組み、さらには、頑健で柔軟性の高い処分場概念を構築することなどが要件となる（原子力発電環境整備機構，2004a）。さらに、地層処分に関するより広範な社会的信頼を獲得するための倫理的側面として可逆性（reversibility）や回収可能性（retrievability）への対応が限定的に要件となる可能性もある。

②に対しては、サイト選定調査の各段階で、調査結果に対し、関係都道府県知事や市町村長ならびに地域住民等の意見を聴いてこれを十分尊重するという要件などが生じる。

また、③に対しては、情報を正確かつわかりやすく公開、提供していくという要件が求められる。

安全確実に地層処分を実施する組織としての信頼を得るためには、技術的信頼性が高いことは不可欠と言える。そのためには、機構が科学的・技術的に高いレベルを有していることを示すとともに、国や電力会社などと連携するのみならず、国内外の関係機関と協力して技術開発を着実に進めることが要件となる。

一方、地域の理解を得ながら事業を展開するためには、上記において示した高い技術的信頼性に加えて、地域の発展や地域とともに歩む関係の構築も重要となり、そのための地域共生への取り組みも重要な要件となる。

さらに、2005年10月に閣議決定された「原子力政策大綱」では、機構に対して、「最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発を計画的に実施していくこと」と示されている。このことから、処分事業全体で必要となる費用をできるだけ低減することも組織としての重要な要件となる。

(ii) 安全・確実に地層処分事業を進めるための技術的要件

地層処分事業を安全・確実に進めるための要件（技術的要件）としては、

- ① 適切なサイト（概要調査地区、精密調査地区、最終処分施設建設地）の選定
- ② サイト環境条件に適応した工学的対策（人工バリア及び処分施設の設計・施工）の実施
- ③ サイト選定、工学的対策によって構築された地層処分システムの長期的な安全性（固有の性能）についての評価

などが要件となる。

①に対しては、その地点の地質環境が放射性核種を閉じ込める性能として放射性核種の溶出及び移動の抑制に対し好ましい条件を有するとともに、それら地質環境が長期的に安定であることを 3 段階の調査で得られた情報を基に適切に評価することが要件となる。

②に対しては、段階的に詳細化されるサイト環境条件に適応して人工バリア及び処分施設を適切に設計し、国による許認可を得て、所要の品質及び安全を確保しながら処分場を建設、操業、閉鎖、事業廃止措置を実施することが要件となる。段階的な実施においては、「安全確認」を適切に実施することや閉鎖までの期間の回収可能性の確保及び必要に応じて行われる制度的管理（記録保存、閉鎖後のモニタリング等）も要件に含まれる。

③では①及び②に基づき安全評価を実施することとなる。ここで安全評価に当たって留意すべき点は、地層処分の長期安全性の確認は従来のような実験、実証によって直接的に得られるものではなく、地層や工学システムの持つ長期の不確実性を含めた評価の上に立って行われる。このような場合、特に重要なことは、機構が示す安全概念全体をわかりやすくまた多面的な証拠を準備し、それらが誰でも追跡できるよう提示することである。これら全てのことが重要な要件として含まれる。

（iii）処分システムの要件

地層処分は、モニタリングや処分施設の維持、あるいは制度的管理など人間が積極的に関与する手段に依存しない受動的なシステムによって処分場を閉鎖した後の長期安全性を確保できることを目指している。そのことから「受動的なシステム」は処分システムを構築する上で最上位の要件の一つとなる。また、国の基本方針等にも示されるように、地層処分は、廃棄体の周りに人工的に設けられる複数の障壁（人工バリア）と、放射性核種を長期にわたって閉じ込める天然の働きを備えた地層（天然バリア）とを組み合わせた「多重バリアシステム」により実施するものとされていることから、「多重バリアシステム」も処分システムの最上位に近い要件となる。さらに、処分地に求められる環境要件（例えば、「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について（原子力安全委員会、平成 14 年 9 月 30 日）」に示される要件）としては、放射性核種の閉じ込めに好ましく、高レベル放射性廃棄物を物理的に生活環境から隔離でき、地表における自然環境の変化に伴う著しい影響を受けない地質環境を有するとともに、人間活動に起因した人間と廃棄体との接触の可能性を低くするため、経済的に重要な鉱物資源の鉱床等が認められない場所を選定することなどが要件となる。

一方、処分場を構成する全ての構成要素（地上施設、地下施設、人工バリア及び母岩／天然バリアなど）に対しては、ガラス固化体からの放射線と地下水に溶け出す放射性物質による影響を受けないよう、それぞれに求められる固有の性能、設計仕様などが要件となる。例えば、核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構）の第 2 次取りまとめなどでは、人工バリアの構成要素であるオーバーパックに関しては、ガラス固化体の放射能レベルと発熱量の比較的高い期間、地下水と接触することを避けるため、少なくとも 1000 年間はガラス固化体と地下水の接触を確実に阻止す

ることが要件とされている。さらに、オーバーパックの具体的な設計に当たっては、閉じ込め性の他、耐圧性、耐食性、放射線遮へい性などが設計要件となる。これら具体的な要件は、今後立地の進展、それに伴う工学技術及び性能評価の詳細化に伴って個別具体的に明確になってくる。