

~~配布限定~~

本資料は 17年 7月25日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

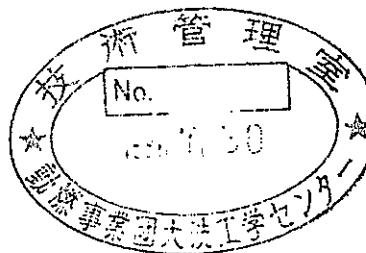
# 高レベル放射性廃棄物処理処分に対する 高度基盤技術の適用に関する調査研究(II)

## 平成2年度 成果概要

(動力炉・核燃料開発事業団 委託研究成果報告書)

技術資料コード	
開示区分	レポートNo.
T2	J1561 91-002
この資料は 図書室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です	
動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター技術管理室	

1991年2月



財団法人 原子力環境整備センター

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱には十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。また今回の配布目的以外のことには使用しないよう注意して下さい。

This document is not intended for publication. No public reference nor disclosure to the third party should be made without prior written consent of Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

本資料についての問合せは下記に願います。

〒107 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

配 布 限 定  
PNC ZJ1561 91-002  
1991年 2月

## 高レベル放射性廃棄物処分に対する高度基盤技術の適用に関する調査研究（Ⅱ）

伊加利勝悟\*，稻垣裕亮\*，下池辰也\*

### 要 旨

我が国は、高レベル放射性廃棄物は、地層処分することを基本方針としている。高レベル放射性廃棄物が実際に処分可能となるまでには、関連する技術開発を含め、なお相当の時間が必要と考えられ、この間、諸般の将来技術（高度基盤技術）の開発の進展により、現在考えられている処理処分技術に大きなブレークスルーをもたらすような技術革新が起こることもあり得る。

このような観点から、本調査研究では、地層処分に関連し得る高度基盤技術を抽出し、それらの研究開発の進展度を調査して、現在の処理処分システム・シナリオへのそれら技術の適用のインパクトを検討するとともに、今後の研究開発計画の策定に資するための検討を行う。

本報告書は、平成2年度の研究成果をまとめたものであり、

- ① 高度基盤技術の現状に関する調査の結果（昨年度同項目に対する追加分）
- ② 昨年度抽出した重要要素技術から、地層処分及び代替処理処分への適用可能な技術（以下、「適用対象技術」という）を抽出した結果、並びに適用対象技術に関する詳細調査の結果
- ③ 適用対象技術の処理処分シナリオ・システムに対するインパクトの分析と、次年度以降さらに詳細に検討すべき適用対象技術に関する検討結果

につき記している。

これらの適用対象技術の研究開発が今後どのように進展するかを検討するための技術開発進展予測についても一次的な調査結果を示している。

---

本報告書は、効原子力環境整備センターが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：020D0078

事業団担当部課室および担当者：環境技術開発推進本部処分研究グループ  
(増田純男)

\* : システム開発調査室

LIMITED DISTRIBUTION  
PNC ZJ1561 91-002  
FEBRUARY, 1991

Study on Application of Highly Advanced Basic Technology in the Field of High-Level Radioactive Waste Management(II)

Shogo Ikari \*  
Yusuke Inagaki\*  
Shinya Shimoike \*

Abstract

The Japanese waste management policy has been to dispose of High-Level radioactive waste from reprocessing of spent fuel in a underground geological repository. It will take a long time to be able to dispose of High-Level radioactive waste, and to do some research and development related to technology for geological disposal. As results of extensive development on future technology, so call Highly Advanced Basic Technology, it would be expected that technological innovation give breakthrough to High-Level radioactive waste management.

Therefore, in this study, highly advanced basic technology which can be related to disposal would be choiced, and a status of resarch and development of the technology would be surveyed. It would also be estimated a impact of application of these technology on waste management program. And research and development plans for studying of it would be made.

This report cotains the result of the fiscal year 1990 of this study. There is the result of survey, which has been doing from last year, on present status of highly advanced basic technolgy in this report. The applicable highly advanced basic technology for geological disposal and alternative waste management has been chosen form important and essential technology which has been selected in last year's study. And we describe the results of detailed survey on the applicable highly advanced basic technology. We have investigated how much impact there was on waste managemnet scinario and safety when we would apply the applicable highly advanced basic technology on waste management system and scinario. And we have done further choice of the applicable highly advanced basic technology using the impact and repercussion effect on industries. There is preliminarry result of survey on technology assessment, which would be used to examine the future progress of the applicable highly advanced basic technology.

---

Work performed by Radioactive waste management center, julidial fundation, under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Deveropment Corporation.

PNC Liaison : Radioactive Waste Management Project, Isolation System Research Program (Sumio Masda)  
\* : System Engineering Division

## 目 次

まえがき .....	1
1. 昨年度までの検討経緯と成果の概要 .....	3
2. 対象となり得る高度基盤技術の現状調査 .....	5
2.1 シミュレーション .....	5
2.1.1 地層の長期安定性のシミュレーション .....	7
2.1.2 地層中での地下水移行及び核種移行シミュレーション .....	7
2.2 A I (人工知能) 技術 .....	9
2.3 新分離技術 .....	9
3. 適用対象高度基盤技術の抽出及び技術調査 .....	11
3.1 適用対象技術の抽出 .....	11
3.1.1 重要要素技術の重要度・要求性能による評価 .....	11
3.1.2 重要要素技術適用可能性評価基準の作成 .....	12
3.1.3 対象技術のリストアップ .....	19
3.2 地層処分に適用可能な技術の調査 .....	29
3.3 代替処理処分に適用可能な技術の調査 .....	43
4. 処理処分システム・シナリオに対する高度基盤技術の適用インパクトの検討 ..	50
4.1 地層処分システム・シナリオへのインパクト .....	50
4.1.1 適用対象技術の適用方法の検討 .....	50
4.1.2 インパクト分析 .....	52
4.1.3 インパクトの整理 .....	52

4. 2 代替処理処分システム・シナリオへのインパクト	54
4. 2. 1 適用対象技術の適用方法の検討	55
4. 2. 2 インパクト分析	57
4. 2. 3 インパクトの整理	57
4. 3 適用概念の検討で対象とする高度基盤技術の選定	59
4. 3. 1 研究開発レベルの整理	59
4. 3. 2 対象技術の産業界への波及効果分析	59
4. 3. 3 第2次スクリーニング基準の作成	61
4. 3. 4 適用対象技術のリストアップ及び今後の検討の方向性	70
5. 技術開発進展予測手法について	72
5. 1 既存の予測方法の調査	72
5. 2 予測手法に関する検討	72
あとがき	75
謝 辞	76

## 図 目 次

図-1 研究の全体フロー .....	4
図-8 地層の長期シミュレーションの流れ .....	8
図-75 地層処分への適用対象技術の適用インパクトの整理 .....	64
図-76 代替処理処分への適用対象技術の適用インパクトの整理 .....	66

## 表 目 次

表－1 地層処分での安全性評価の目的とシミュレーション	6
表－9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価	13
表－10 適用対象となる高度基盤技術の摘出	20
表－11 地層処分での適用対象技術	27
表－12 代替処理処分での適用対象技術	28
表－16 地層処分に適用可能な技術の調査（高温超伝導体によるS Q U I D）	30
表－17 地層処分に適用可能な技術の調査（ジオトモグラフィー技術）	31
表－19 地層処分に適用可能な技術の調査（中性子探査技術）	32
表－20 地層処分に適用可能な技術の調査（核磁気共鳴探査技術）	33
表－21 地層処分に適用可能な技術の調査 （超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術）	34
表－22 地層処分に適用可能な技術の調査 （フラクタル理論による地質の長期評価技術）	35
表－23 地層処分に適用可能な技術の調査 （ボクセル構造による地質構造の表現）	36
表－26 地層処分に適用可能な技術の調査（レーザーによる掘削技術）	37
表－27 地層処分に適用可能な技術の調査（バイオセンサー）	38
表－28 地層処分に適用可能な技術の調査（イオンセンサー）	39
表－30 地層処分に適用可能な技術の調査（耐放射線光ファイバー）	40
表－31 地層処分に適用可能な技術の調査（スマートセンサー技術）	41
表－32 地層処分に適用可能な技術の調査（超耐食性材料）	42
表－33 代替処理処分に適用可能な技術の調査（大口径超深部掘削技術）	44
表－34 代替処理処分に適用可能な技術の調査（海底作業用の掘削技術）	45
表－35 代替処理処分に適用可能な技術の調査（レーザーによるアクチニド分離）	46
表－36 代替処理処分に適用可能な技術の調査（核破碎技術（陽子加速器））	47
表－37 代替処理処分に適用可能な技術の調査（ロケット技術の高度化）	48
表－38 代替処理処分に適用可能な技術の調査（C E R M E T）	49
表－39 地層処分での適用対象技術の適用方法	51

表-41 地層処分への適用対象技術の適用のインパクト	53
表-42 代替処理処分での適用対象技術の適用方法	56
表-44 代替処理処分への適用対象技術の適用のインパクト	58
表-45 研究開発レベルの整理	60
表-46 産業へのインパクトの整理	63
表-47 地層処分への適用対象技術の適用のインパクトの順位	68
表-48 代替処理処分への適用対象技術の適用のインパクトの順位	69

## まえがき

わが国では、高レベル放射性廃棄物は安定な形態に固化した後、30年から50年程度冷却のため貯蔵を行い、その後深地層中に処分するとの基本方針が定められている。

ところが、このように廃棄物の処理から処分に至るまでの時間的な隔たりが大きいことを考慮すると、基盤技術の開発の積み重ねによって、現在の処理処分技術体系に大きな波及効果を与える革新的技術が創出され得ることがあり得る。したがって、現時点で考慮されている処分技術は実際の処分時点までに相当程度変遷する可能性があると考えることができる。

このような観点から、本調査研究では、地層処分に適用することにより既存技術にブレークスルーをもたらすような将来技術（高度基盤技術），並びに現時点で想定されている地層処分とは基本的に異なる処分概念を実現する上でクリティカルとなる技術領域を抽出し、それらの研究開発進展度について調査することにより、現在想定されている処理処分システム・シナリオに対する当該基盤技術の適用によるインパクトを検討し、高度基盤技術の地層処分への適用に関する研究開発計画の検討に資することを目的とする。

なお、本成果概要では成果報告書の本編との対応を取り易くするために、図表番号に関しては本編と同一番号としている。また、文中等で引用のある図表で本成果概要に記載していないものがあるが、これらについては本編を参照されたい。

## 1. 昨年度までの検討経緯と成果の概要

本調査研究は、今後の技術の発展による高度基盤技術の進展状況を想定して、最終的にはそのような技術を適用した地層処分概念及び代替処理処分概念を検討するとともに、適用効果を評価することを目的として平成元年度より調査研究を開始した（図-1参照）。

昨年度の調査研究では、高レベル放射性廃棄物の地層処分及び代替処理処分について、地層処分に関してはその構成上の主要な要素技術を整理し、他方、代替処理処分技術に関しては成立上のクリティカルな技術を抽出するとともに、それら技術に関連する将来技術（高度基盤技術）についての現在の研究動向等について調査を行った。

### (1) 高レベル放射性廃棄物処分に係わる重要技術の整理

現状の地層処分に要求される革新的な技術ニーズを抽出するためアンケートを実施した。アンケートにより得られたニーズを整理することにより、地層処分についての重要要素技術を抽出した。

また、代替処理処分として各国で研究されている概念について、実現のためのクリティカルな技術について検討し、それらを重要要素技術としてまとめた。

### (2) 対象となりうる高度基盤技術の抽出

重要要素技術の基礎を構成していると考えられる高度基盤技術として、材料、メカトロニクス、レーザー、超伝導、バイオテクノロジー、センサー、シミュレーションについて調査し、研究開発の状況、重要な研究課題等を抽出した。現状調査は本年度も継続して実施した。

### (3) 適用対象高度基盤技術の抽出及び技術調査

地層処分及び代替処理処分へ適用することが考え得る高度基盤技術として、地層処分については光ファイバーセンサーのモニタリング技術への適用を、代替処理処分のうちの宇宙処分に関してEMMD（Electro-Magnetic Mass Driver）技術を適用することについて、技術の現状、適用概念、適用上の課題、並びに本技術の今後の展望等をまとめた。

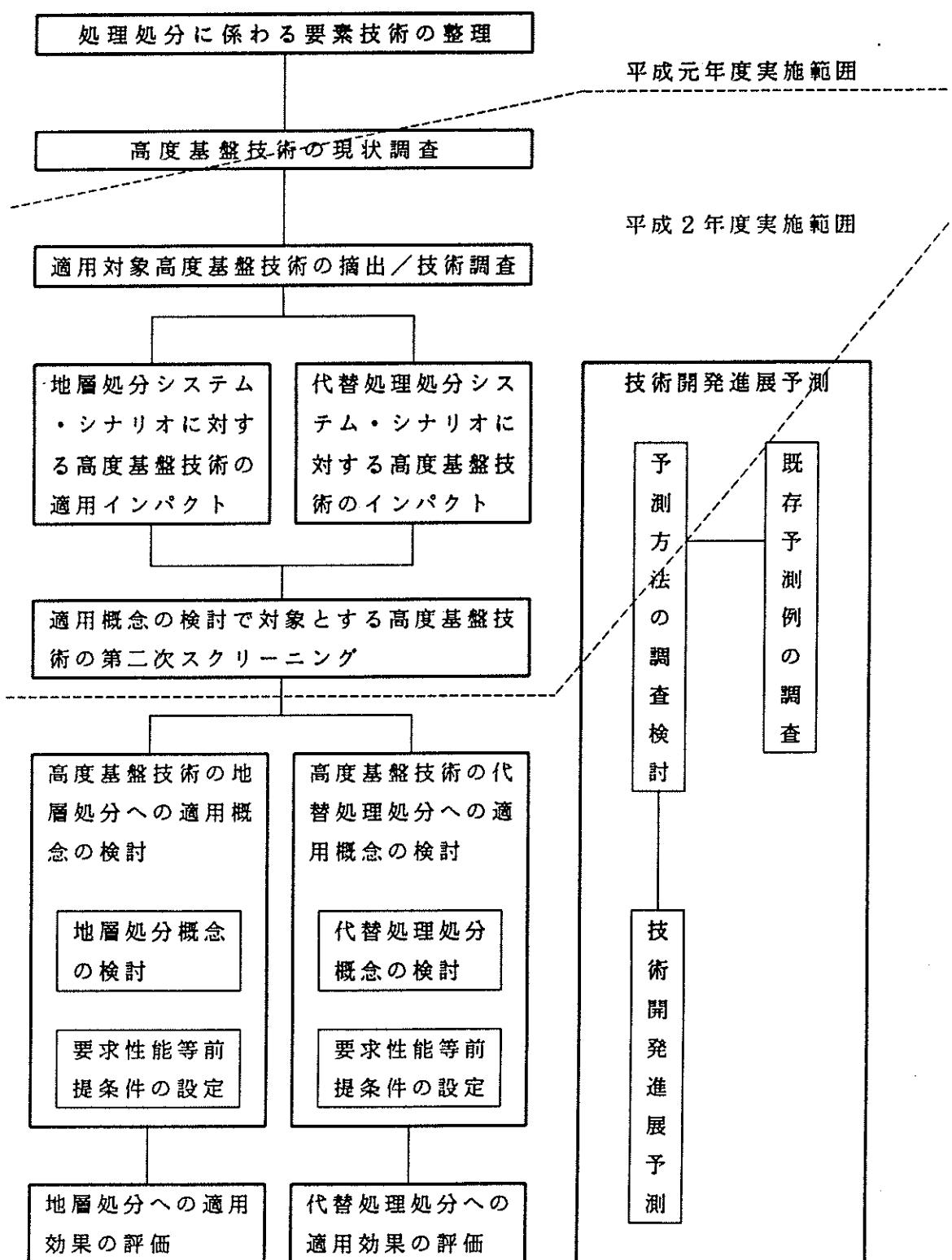


図-1 研究の全体フロー

## 2. 対象となり得る高度基盤技術の現状調査

高度基盤技術と考えられ得る各種将来技術のうち、平成元年度は材料、メカトロニクス、レーザー、超伝導、バイオテクノロジー、センサー及びシミュレーションについて、研究開発状況、重要研究課題等の調査を実施した。

本年度は、上記の技術に加えてAI技術及び新分離技術について調査するとともに、シミュレーションに関しては、前年度は数値情報の視覚化に重点を絞っていたことから、調査範囲をシミュレーション手法自体に移して調査を実施した。

本年度の高度基盤技術の調査内容は、以下のとおりである。

### 2.1 シミュレーション

地層処分は、母岩となる地層の超長期的な安定性を基礎として成立し得る概念であり、その地層の隔離性能は極めて重要な位置付けにあるものと考えられる。

地層処分において、シミュレーションは主として処分の安全性を評価することに目的が置かれている。安全性の評価は、処分ステップの進捗に従って、目的、要求される精度、入手データの範囲等が変化していく（表-1参照）。

これらの過程を通じ、地層処分に関するシミュレーションは、下記の2項目が主要な評価対象になると考えられる。

- ① 地層の長期安定性
- ② 地層中での地下水移行及び核種移行

地層処分に係わるシミュレーションでは、良好な母岩の存在と賦存する地下水の状態について、現在の状態を詳細に把握することが大前提となり、さらに得られたデータを解析した結果、将来にわたっての変化が許容し得る範囲に入っていることを解析する評価システムを作り上げる必要がある。また、評価を精度良く行うには、広範囲なデータの収集と地層の状態を適切にモデル化することが必須である。

以上の観点から、地層の長期安定性のシミュレーションについては、データの入手方法、モデル化の方法、並びに長期評価の可能性を中心に調査を行った。一方、地層中の地下水移行及び核種移行については、各国が協力して実施している評価コードの検証研究で取り扱われているコードを中心に調査した。

表一 地層処分での安全性評価の目的とシミュレーション

処分ステップ	安全性の評価の目的	要求される精度	入手データの範囲	シミュレーションの役割
フィージビリティ研究	地層処分が安全に実施できることを概略的に示すことを目的として実施される。	精度は高いものではなく、一般的な条件・データを用いて評価を行っても十分安全であることが言えることが必要。	実測データよりも文献等により入手したデータが中心となる。	・被曝評価のための地下水、核種移行評価
サイト選定・特性調査 －広域調査 －精密調査 －原位置試験	候補となっているサイトにおいて安全な処分が実施できることを示す。	複数の候補サイトを比較してサイト特性が最も適している場所であることが示せることが必要とされ、精度は非常に高いものとなる。	ボーリング調査、原位置試験により得られたサイト固有のデータを使用する。ただし、過度にボーリングを行うことはコスト的並びにサイトの全体としての健全性の観点から好ましくない。	・地層の長期安定性 ・地下水の状態 ・処分場建設による環境影響 ・施設設計に必要なデータの取得 ・被曝評価のための地下水、核種移行評価
設計・安全審査	処分サイトに施設を建設することが、安全性を確保しながら実現できることを示す。長期的な観点からも評価が必要となる。	対象サイトについて不確実性を低減した極めて高い精度を要求される。	サイト特性調査により得られた詳細なデータを使用する。	・地層の長期安定性 ・処分施設の長期健全性評価 ・環境影響 ・被曝評価のための地下水、核種移行評価

### 2.1.1 地層の長期安定性のシミュレーション

地層の長期安定性を定量的にシミュレートするためには、地層の特性を考慮した数値計算による構造解析が必要である。

地層の長期の安定性を定量的にシミュレーション可能な統合的なコードが開発され、実際のサイトを対象に解析計算を実施しようとする際には次の項目を行うことが必要になる。

- ① 対象地域の地質構造のモデル化
- ② 岩盤物性値の3次元分布の把握
- ③ 境界条件の設定

①, ②に関しては、地表探査、リモートセンシング、各種の物理探査、3次元ジオトモグラフィー、ボーリング調査、試掘坑による原位置岩盤試験、岩石物性室内試験等により極力岩盤を乱さず、しかも精度の良い3次元データを取得する必要がある。また、③に関しては既存の地球科学データや長期の地表変位観測データの利用、対象地域の周辺の地盤初期応力の測定等により、境界変位または境界外力を設定する。

以上のようにシミュレーションコードを開発し、高度化された地質調査技術により対象地域のデータを取得すれば、地層処分の安全性に関わる地質条件の長期のシミュレーションが可能になると考えられる（図-8参照）。

このシミュレーションの結果、有意な地質条件の変化が認められる場合には、この解析計算に、浸透流、熱、核種の移行の解析を連成することにより、長期の地質条件の変化を織り込んだ安全評価が可能になる。

### 2.1.2 地層中の地下水移行及び核種移行シミュレーション

地層処分の安全性を評価することを目的とし、下記分野にてコードが開発されている。

- ・ニアフィールドの核種移行
- ・ファーフィールドの地下水流
- ・ファーフィールドの核種移行

総合的な安全評価を行うためには各々のコードを組み合わせて統合する必要がある。

ここでは、NEAデータバンクに登録されているコード、INTRACOIN  
(International Nuclide Transport Code Intercomparison Study) 及び  
HYDROCOIN等で対象とされている評価コードのうち、現在一般に使用されて

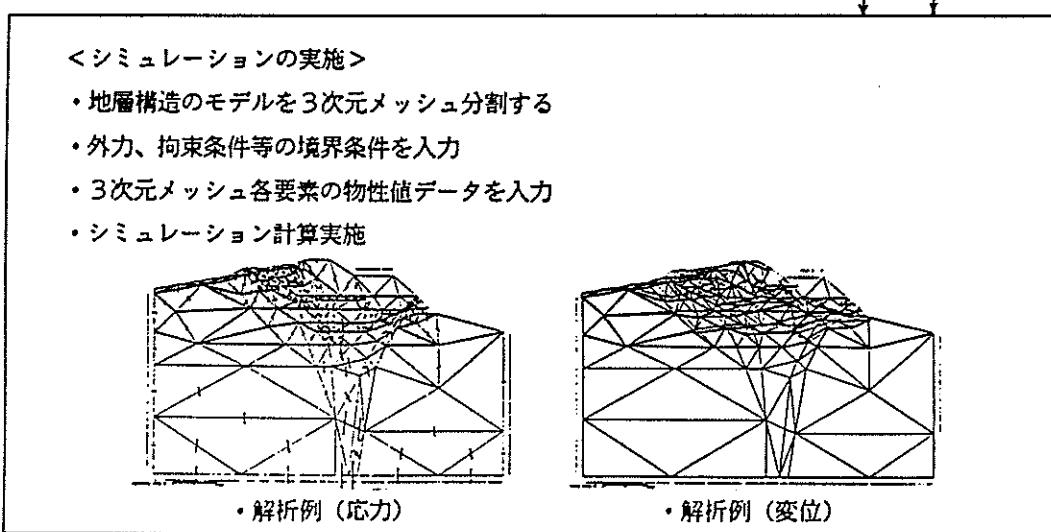
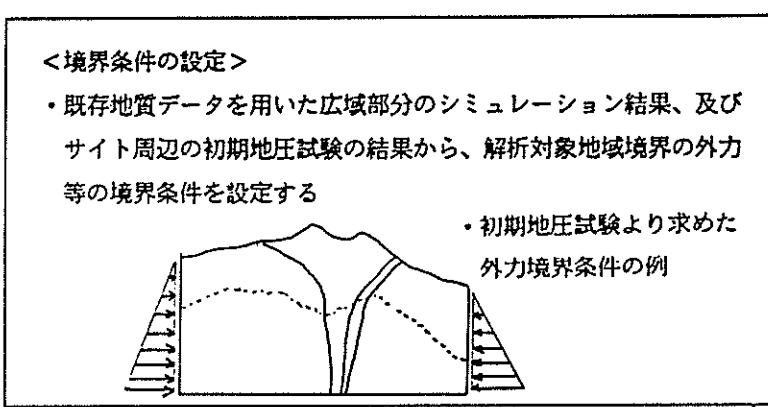
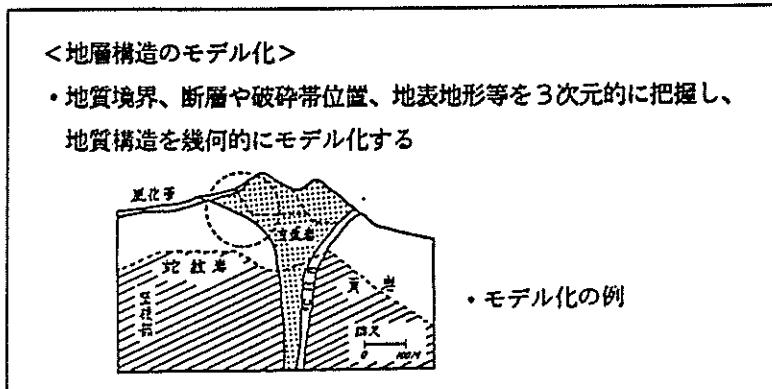


図-8 地層の長期シミュレーションの流れ

いる主要と考えられるものについて選択し、そのコードの目的、解法等について調査を行った。

## 2.2 A I (人工知能) 技術

最近のA I技術の開発動向の一つは、専門家の知識を持ちその代替を行うエキスパートシステムの構築及び構築の為のツールの開発である。エキスパートシステムの主な機能としこそ診断、設計支援、分析、予測等であり、その対象分野は医療から原子力、分子生物学等多岐にわたっている。

ここでは、A I技術のうち膨大なデータを駆使する地下深部の解析にブレークスルーをもたらす可能性の高い技術として推論方式の1つとして定性推論を、ハードウェアとしてはニューラルネットワークについて調査を行った。

## 2.3 新分離技術

新分離技術に関する動きとしては、高レベル放射性廃棄物に含まれている核種を分離して長寿命の放射性核種を短寿命又は安定な核種に変換すること、あるいは分離した元素を有效地に利用することで、高レベル放射性廃棄物の処分の負担軽減化や資源の有効利用等を図ることなどを目標に、群分離・消滅処理研究が行われていることを挙げることができる。

群分離・消滅処理については、1970年代には欧米においてかなり研究が行われたが、1980年代はじめに実施された総合評価の結果において、経済性及び新たな廃棄物発生による短期リスクが増加すること等の点で有利でないと判断され、それ以来欧米では各國とも群分離・消滅処理に関する研究をほとんど中断している。ただし、フランスでは1984年のカスタン報告により研究の必要性が勧告されたため、その後数年間研究が継続され、E C超ウラン元素研究所でも燃料研究の一つとして研究が行われた。

最近我が国を中心に、処理処分を含めて総合的な観点から群分離技術を見直す動きが見られ、米国においても軍事用再処理廃液の処理を中心に、研究が復活する傾向が見られる。

既存の分離研究としては湿式法及び乾式法で実用化されているものがある。高レベル放射性廃棄物からの核種分離には、これら湿式法及び乾式法の他に、基礎研究段階ではあるがレーザー分離法が適用可能と考えられる。

これらの分離技術の概要は次の通りである。

- ① 湿式法：高レベル廃液を脱硝，抽出，イオン交換することにより 3 群又は 4 群に分離することなど。海外では，TRUEX 法及び SREX 法等が開発研究されている。
- ② 乾式法：高レベル廃液を脱硝，固化し，冶金的に 3 群に分離することなど。
- ③ レーザー分離法：高レベル廃液を前処理した後，目的の元素を選択的に励起し，原子価を変化させて分離することなど。

### 3. 適用対象高度基盤技術の抽出及び技術調査

#### 3.1 適用対象技術の抽出

高レベル放射性廃棄物の地層処分及び代替処理処分の実現のために必要となる技術として昨年度抽出を行った重要要素技術、並びに重要要素技術に対応させてピックアップした高度基盤技術に関して、実際に適用される適用箇所、環境条件を考慮して、適用の可能性があると想定される高度基盤技術（以下、「適用対象技術」という）の抽出を行った。

##### 3.1.1 重要要素技術の重要度・要求性能による評価

各重要要素技術を実現可能とする高度基盤技術に関しては、昨年度の調査で分析抽出を行った。

重要要素技術の中には、地層処分及び代替処理処分に直接関係して重要性を持っているものが多く抽出されている一方で、基本的には間接的な影響しか持っていないものも含まれている。

また、昨年度実施したアンケートの中で、多くの回答者が革新ニーズとして挙げているものについては、これが直接今後の研究開発の必要性につながっていくものと考えられる。

さらに、重要要素技術を具体的に適用し、実効あるものとすることを考えた場合、適用する箇所の環境条件が非常に厳しいもの、測定範囲、精度等の要求性能のレベルが現状技術よりかなり高いものが含まれる。しかも、このような環境条件、要求性能等を満足するような技術が実現するものとなった場合を想定すると、現状で考えている地層処分や代替処理処分の概念に実現性が増加するような変化、ブレースルーをもたらす可能性が高いものもある。

以上の観点から、以下に示す項目に関して、各重要要素技術についての重要度及び要求性能を評価する。

- ① 地層処分又は代替処理処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術
- ② 関係者のニーズが大きい技術
- ③ 適用の箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術
- ④ 現行の概念に変化、ブレースルーを与える技術

①については、各種処理処分の重要なステップである調査、解析、評価、建設、運転、長期管理等への関連性の観点から、関連性の高いものを○、比較的関連性の乏しいものを×とした。

②については、アンケートの中で具体的な革新ニーズとして挙げられたものが、各々の重要要素技術毎に何件あったかを数量で示した。

③、④では、環境条件が厳しいもの、要求性能が高いもの、概念に変化・ブレークスルーレーを与えると考え得るものに○、そうでないものに×を与えた。

重要度・要求性能により重要要素技術を評価した結果を表-9に示す。

### 3.1.2 重要要素技術適用可能性評価基準の作成

地層処分及び代替処理処分への適用対象技術を重要要素技術により選定するために、各技術の適用性を判断するための評価基準を作成する。

3.1.1において重要性及び要求性能等により、各々の重要要素技術毎に地層処分への関連性、ニーズの多さ、適用環境条件・要求性能の高さ及び概念の変化・ブレークスルーレーの可能性により概略的な評価を行った。

ここでは、上記の評価結果を用いて重要要素技術をスクリーニングする。スクリーニングにあたっては、3.1.1での評価を数量化できるような係数を設定し、さらにポイント数の大きいものを選択するという手順を用いる。

#### (1) 評価結果の定量化

表-9に示した重要性・要求性能の評価を下記の方法により定量化する。

重要性・要求性能	○	×
①地層処分又は代替処理処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術	×5	×0
②関係者のニーズが大きい技術	アンケートのニーズの数量（件数）をそのまま用いる（代替処理処分はすべて1点とする）	
③適用箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術	×2	×1
④現行の概念に変化・ブレークスルーレーを与える技術	×10	×1

表一 9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価 (1 / 5)

コード	重 要 要 素 技 術	高 度 基 礎 技 術	①	②	③	④
【地層処分】						
A01	地下作業者の安全確保のための技術	高度安全管理技術／教育システム技術；坑道、作業場 インテリジェント化技術	X	5	X	X
A02 a	人工衛星を用いた地質調査技術	評価技術／リモートセンシング（スペクトラルセンシング）	7	7	O	O
A02 b	人工衛星を用いた地質調査技術	A I 技術	7	X	O	X
A03 a	非破壊で地層の三次元的情報を得る技術	高度計測技術	46	46	O	X
A03 b	非破壊で地層の三次元的情報を得る技術	CT技術／ジオトモグラフィ（プロトン、超音波、レーザーパルス、電磁波）	46	42	X	O
A04 a	コンピュータを導入した無人化技術	A I 技術／知能ロボット技術	42	42	X	X
A04 b	コンピュータを導入した無人化技術	メカトロニクス技術	42	42	X	X
A05 a	CT的手法を用いた地質調査技術	CT技術／非破壊検査（中性子、超音波、X線）技術	17	17	O	O
A05 b	CT的手法を用いた地質調査技術	高度計測技術	17	17	X	X
A06	航空機を用いた地質調査技術	評価技術／リモートセンシング（スペクトラルセンシング）	4	27	O	X
A07 a	リモートセンシング手法の高度化による調査技術	高度計測技術	27	27	X	X
A07 b	リモートセンシング手法の高度化による調査技術	評価技術／リモートセンシング（スペクトラルセンシング）	8	8	O	X
A08	少量のデータから実際の状態を正確に推定する技術	評価技術／LDV（レーザドップラ流速計）、レーザレーダ、CCDカメラ…etc.	3	3	X	X
A09 a	断層の状態を正確に推定する技術	A I 技術／シミュレーション技術	3	3	O	X
A09 b	断層の状態を正確に推定する技術	高度計測技術	3	3	X	X
A10 a	リアルタイムな地質推定を可能にする技術	A I 技術／推論技術、シミュレーション技術	3	3	X	X
A10 b	リアルタイムな地質推定を可能にする技術	高度計測技術	3	3	X	X
A11 a	ボーリングの高度化による地質調査技術	大規模コンピュータ技術／エキスパートシステム技術	26	26	X	X
A11 b	ボーリングの高度化による地質調査技術	メカトロニクス技術	26	26	X	X
A12 a	ボーリングの低コスト化	材料技術／超耐熱耐圧切削材料創製技術	22	22	X	X
A12 b	ボーリングの低コスト化	メカトロニクス技術	22	22	X	X
A13 a	現存する技術の複合による高度地質調査技術	材料技術／超耐熱耐圧切削材料（合成ダイヤモンド、セラミクスコーティング）	2	2	X	X
A13 b	現存する技術の複合による高度地質調査技術	A I 技術／エキスパートシステム技術	2	2	X	X
A14 a	ロボットを導入する技術	システム化技術	2	2	X	X
A14 b	ロボットを導入する技術	A I 技術／知能ロボット技術	5	5	X	X
A15 a	非破壊で地下水脈を把握する技術	メカトロニクス技術	3	3	O	X
A15 b	非破壊で地下水脈を把握する技術	高度計測技術	3	3	X	X
A16 a	新素材を用いた試料サンプリング技術の高度化	A I 技術／フランタル解析技術	1	1	O	X
A16 b	新素材を用いた試料サンプリング技術の高度化	メカトロニクス技術	1	1	X	X
A17	コンピュータを導入した自動化システム	材料技術／超耐熱超硬脆材料（セラミクスコーティング）創製技術	8	8	O	X
A18 a	地下環境を精密に再現できるシステム	A I 技術／エキスパートシステム技術	8	8	X	X
A18 b	地下環境を精密に再現できるシステム	高度計測技術	8	8	O	X
A19	現実に忠実な大型試験法の確立	A I 技術／UGLインテリジェント化技術	8	8	X	X
A20	A I の手法を導入した解析システムの開発	評価技術／大型システム化技術	9	9	O	O
A21	数千年にわたる地盤変動の正確な予測システム	A I 技術／エキスパートシステム技術	9	9	X	X
A22	正確な超加速試験法を可能にする技術	A I 技術／コンピュータシミュレーション技術／大規模データベースの基礎	9	9	O	O
A23 a	低透水性岩盤に対する透水性試験技術	材料技術／長期寿命評価・試験技術	6	6	X	X
A23 b	低透水性岩盤に対する透水性試験技術	高度計測技術／MRI技術	6	6	X	X
A24 a	水みちの同定が可能な透水性試験技術	評価技術	7	7	O	O
A24 b	水みちの同定が可能な透水性試験技術	高度計測技術	7	7	X	X
A25 a	コンピュータシミュレーションとグラフィックス技術	評価技術／ジオトモグラフィ技術	8	8	X	X
		A I 技術／大規模コンピュータ技術				

① 地層処分又は代替処分の具現化に直接関連し重要な位置付けにある技術

② 関係者のニーズが大きい技術

③ 適用の箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術

④ 現行の概念に変化、ブレークスルーを与える技術

表一 9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価 (2/5)

コード	重 要 要 素 技 術	高 度 基 本 技 術	①	②	③	④
A25 b	コンピュータシミュレーションとグラフィックス技術	高度計測技術	x	8	x	x
A26 a	地盤地帯の地質調査、解析技術	評価技術/リモートセンシング技術	x	33	x	x
A26 b	地盤地帯の地質調査、解析技術	CT技術	x	33	x	x
A27 a	トローサ技術を用いた調査法の高度化	高度計測技術	x	55	x	x
A27 b	トローサ技術を用いた調査法の高度化	レーザ技術/レーザ分光計測技術	x	55	x	x
A27 c	トローサ技術を用いた調査法の高度化	評価技術	x	55	x	x
A28 a	地層内の微量元素をもりかけに測定可能な装置の開発	高度計測技術	x	55	x	x
A28 b	地層内の微量元素をもりかけに測定可能な装置の開発	レーザ技術/レーザ分光計測技術 (LIF, LPAS)	x	55	x	x
A28 c	地層内の微量元素をもりかけに測定可能な装置の開発	評価技術	x	55	x	x
A29 a	放射性核種の地層内挙動の定量的把握	高度計測技術	x	77	x	x
A29 b	放射性核種の地層内挙動の定量的把握	レーザ技術/レーザ分光計測技術	x	77	x	x
A29 c	放射性核種の地層内挙動の定量的把握	評価技術	x	77	x	x
A30 a	地下水脈の正確な状況を把握する技術	高度計測技術	x	15	x	x
A30 b	地下水脈の正確な状況を把握する技術	CT技術/ジオトモグラフィ技術	x	15	x	x
A31 a	孔内スキーリング記憶装置	高度計測技術	x	22	x	x
A31 b	斜坑アクセス	AI技術/知能ロボット技術	x	19	x	x
A33	新しい処分方法の検討	高度土木建築技術/斜坑掘削、坑道維持技術	x	13	x	x
B01 a	数万年単位での地層、地質彎曲変化を予測する技術	評価技術/総合評価技術	x	13	x	x
B01 b	数万年単位での地層、地質彎曲変化を予測する技術	評価技術/超長期の地盤変化(地震)予知技術	x	13	x	x
B02	地下作業者の心理的影響についての研究	大規模コンピュータ技術/大規模データベースの蓄積	x	1	x	x
B03	国際協力による地質研究体制の確立	ヒューマンテクノロジテクノロジー/メンタルヘルス技術	x	4	x	x
B04	地質データバンク等データバンクの整備	情報ネットワーク技術/国際ネットワーク技術	x	3	x	x
B05	AI的手法を導入したサイト選定技術	大規模データベースの蓄積/システム化技術	x	22	x	x
B06	海底下サイトを可能にする技術	AI技術/サイト選定技術	x	12	x	x
B07	ハイオテクノロジーを導入し核種固定を行う技術	統合エンジニアリング技術/超耐圧構造材料技術、超深度掘削技術	x	22	x	x
B08	ガラスよりも耐久性、固定性に優れる固化体の技術	バイオ技術/伝伝子組み換え技術、無色融合技術	x	29	x	x
B09	核種無効化材料およびそのシステムの開発	材料技術/スーパーエンジニアリングプラスチクス、セラミクス技術	x	19	x	x
B10	セラミック系固体化材料の開発	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	x	3	x	x
B11	自己消滅処理がマトリクス中で起きるような材料の開発	材料技術/信頼性評価技術	x	12	x	x
B12	自己修復機能を持った材料の開発	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	x	6	x	x
B13	平衡論的に漏洩を防止する技術	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	x	21	x	x
B14	核種の化学反応により核種を固定化する技術	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	x	16	x	x
B15	地盤変形に耐えられる容器の開発(柔らかいもの)	材料技術/高粘性流体、磁性流体技術	x	1	x	x
B16	防熱、防錆性に優れる新素材の開発	材料技術/高耐食性材料技術	x	4	x	x
B17	強固な皮膜の簡易生成技術	材料技術/コーティング技術(傾斜機能材料)	x	2	x	x
B18	軽量の複合材料を用いたオーバーパック技術	材料技術/FRP(綾維強化プラスチクス; ホイスカ強化)	x	4	x	x
B19	放射線遮蔽性の高いオーバーパック材料の開発	材料技術/FRP(エボキシマトリクス、ポリイミドなどスーパーエンプラマトリクス)	x	4	x	x
B20	不透水性緩衝材の開発	材料技術/高機能性樹脂技術(高吸収材等)	x	2	x	x
B21	産業廃棄物の有効利用技術	材料技術/資源リサイクリング技術(遮蔽・製鍊技術)	x	4	x	x
B22	特定核種のみを選択的に吸着する材料の開発	材料技術/機能性材料技術(分子ふろい; バイオ材料)	x	7	x	x
B23	化学的に安定な新素材の開発	材料技術/人工鉱物合成技術、セラミクス合成技術	x	7	x	x
B24	安定性、浸透性に優れた材料の開発	材料技術/機能材料技術、信頼性評価技術	x	10	x	x
B25	処分場全体程度の広域グラウト技術	高度土木建築技術/地盤改良技術	x	4	x	x
B26	地層同化材といったような材料の開発	材料技術/人工鉱物合成技術	x	7	x	x
B27	周辺地質の機能性を向上技術	高度土木建築技術/地盤改良技術	x	20	x	x
B28	地下水水路固定材料およびその技術	超導技術/極低温技術	x	4	x	x
B29	新しい評価技術の確立	評価技術/体系化技術	x	7	x	x

(1) 地層区分は代替処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術

(2) 関係者のニーズが大きい技術

(3) 適用の箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術

(4) 現行の概念に変化、ブレークスルーを与える技術

表一 9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価 (3/5)

コード	重 要 要 素 技 術	高 度 基 礎 技 術	①	②	③	④
B30 a	岩盤の長期安定性評価システムの開発	評価技術/長期シミュレーション技術, 高精度土質データ取得・解析技術	○	4	○	○
B30 b	岩盤の長期安定性評価システムの開発	A I 技術	○	4	○	○
B31	新しいモニタリング概念, システムの開発	高度計測技術/センサーシステム化技術	○	4	○	○
B32	地球化学的試験推進機関	情報ネットワーク技術/データバンク技術	○	36	○	○
B33 a	グラウト以外の増強工法の開発	高度土木建築技術/掘削技術	×	1	○	○
B33 b	グラウト以外の増強工法の開発	超電導技術/極低温技術	○	1	○	○
B34	核種移行閉サイクル	超電導技術/極低温技術	○	1	○	○
B35 a	局所的腐食, 劣化の防止及び検知システムの開発	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	○	1	○	○
B35 b	局所的腐食, 劣化の防止及び検知システムの開発	高度計測技術/光センサー技術, システム化技術	○	1	○	○
B36	固化体の底温合成技術及びシステム	材料技術/人工乾物合成技術, システム化技術	○	1	○	○
B37 a	高圧縮ペントナイトの開発	材料技術/人工乾物合成技術(高圧合成)	○	1	○	○
B37 b	高圧縮ペントナイトの開発	高度土木建築技術	○	1	○	○
B38 a	高耐久性セメント系材料の開発	材料技術/寿命評価・試験技術(加速寿命試験), 複合材料技術	○	1	○	○
B38 b	高耐久性セメント系材料の開発	高度土木建築技術	○	1	○	○
C01 a	高精度な地質評価システムの開発	評価技術	○	6	○	○
C01 b	高精度な地質評価システムの開発	A I 技術/大規模データベースの蓄積	○	2	○	○
C02	精密なコンピューターシミュレーション技術	A I 技術/データ高精度化技術 ソフトウェア(モデル化)技術	○	23	○	○
C03 a	ダルシー法則以外の法則に基づいた地下水解析技術	評価技術	○	2	○	○
C03 b	ダルシー法則以外の法則に基づいた地下水解析技術	大規模コンピュータ技術 A I 技術/ソフトウェア技術(ビンガム流モデル化技術)	○	3	○	○
C04 a	地下水と地表水の相互関係の解析技術	評価技術	○	3	○	○
C04 b	地下水と地表水の相互関係の解析技術	A I 技術/地下水解析技術	○	3	○	○
C05 a	岩盤の核種吸着特性分布の測定技術	高度計測技術	○	2	○	○
C05 b	岩盤の核種吸着特性分布の測定技術	材料技術/表面分析技術(ESCA, 等)	○	2	○	○
C06 a	放射性核種を用いた移行試験技術	高度計測技術	○	7	○	○
C06 b	放射性核種を用いた移行試験技術	レーザ技術/レーザ分光計測技術	○	7	○	○
C07	核種移行挙動解析コードの開発	大規模コンピュータ技術技術/ソフトウェア技術, コンピュータシミュレーション技術	○	11	○	○
C08 a	人工バリアの機能の劣化要因の評価手法の開発	高度計測技術	○	8	○	○
C08 b	人工バリアの機能の劣化要因の評価手法の開発	材料技術/寿命評価・試験手法	○	8	○	○
C09	C T の手法を用いた劣化現象の把握技術	C T 技術/超音波, レーザパルス, X線技術	○	1	○	○
C10	人工バリアの経時変化の予測技術	材料技術/寿命評価・試験技術	○	1	○	○
C11 a	バリア内の各種パラメータの経時変化評価, 解析手法の開発	大規模コンピュータ技術	○	5	○	○
C11 b	バリア内の各種パラメータの経時変化評価, 解析手法の開発	評価技術	○	5	○	○
C12 a	材料の自動監視技術	高度計測技術/モニタリング技術	○	3	○	○
C12 b	材料の自動監視技術	大規模コンピュータ技術	○	3	○	○
C13 a	耐久性評価のためのデータの整備	大規模データベース	○	8	○	○
C13 b	耐久性評価のためのデータの整備	評価技術	○	8	○	○
C14	コンピュータを導入した可視化技術	C T 技術/コンピュータグラフィックス技術	○	4	○	○
C15 a	将来の変化を考慮にいれたシステム評価技術	評価技術/長期間予測技術, シミュレーション技術	○	10	○	○
C15 b	将来の変化を考慮にいれたシステム評価技術	A I 技術	○	2	○	○
C16 a	他モデルとの比較, 相互評価	評価技術/比較技術	○	12	○	○
C16 b	他モデルとの比較, 相互評価	A I 技術	○	12	○	○
C17 a	ファジー理論を導入したデータ評価技術	A I 技術	○	4	○	○
C17 b	ファジー理論を導入したデータ評価技術	評価技術	○	4	○	○
C18 a	不確実性の範囲を限定できるようなシステム	評価技術/A I 技術/インテリジェントシステム技術	○	2	○	○
C18 b	不確実性の範囲を限定できるようなシステム	評価技術/A I 技術/インテリジェント評価システム技術	○	2	○	○
C19 a	リスクアセスメントを導入した不確定性評価技術	大規模データベースの蓄積	○	4	○	○
C19 b	リスクアセスメントを導入した不確定性評価技術	A I 技術/推論技術, シミュレーション技術	○	4	○	○
C20	ナチュラルアナロジ研究	評価技術/モデル化技術	○	1	○	○
C20 a	ナチュラルアナロジ研究	高度土木建築技術	○	1	○	○
C21	最適化のための不確実性の評価	材料技術/インテリジェントマテリアル技術	○	1	○	○
C22 a	再取出が不要となる補修, 補強技術の開発	高度土木建築技術	○	1	○	○
C22 b	再取出が不要となる補修, 補強技術の開発	材料技術/人工乾物合成技術	○	1	○	○
C23 a	地層固化材の開発	超電導技術/極低温技術	○	7	○	○
C23 b	地層固化材の開発	高度土木建築技術	○	7	○	○
C23 c	地層固化材の開発	材料技術/人工乾物合成技術	○	7	○	○
C24 a	特定核種を選択的にモニタリングできるシステム	超電導技術/レーザ分光計測技術	○	13	○	○
C24 b	特定核種を選択的にモニタリングできるシステム	高度土木建築技術	○	13	○	○

① 地層処分又は代替処理処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術

② 関係者のニーズが大きい技術

③ 適用の箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術

④ 現行の概念に変化、ブレークスルーを与える技術

表一 9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価 (4 / 5)

コード	重要要素技術	高度基盤技術	①	②	③	④
【超深孔処分】						
D 1	超深部掘削技術、坑道維持技術	高度土木建築技術／超深部掘削技術、坑道維持技術	○	1	○	○
D 2	超深部耐環境材料、設計技術	材料技術／耐高圧・高温材料、耐食材料	○	1	○	○
D 3 a	超深部モニタリング技術	高度計測技術	○	1	○	○
D 3 b	超深部モニタリング技術	超深部連続計測技術	○	1	○	○
D 3 c	超深部モニタリング技術	材料技術／耐高圧・高温材料	○	1	○	○
D 4 a	超深部(3,000 ~ 15,000m)の環境、岩体調査及び評価技術	高度計測技術	○	1	○	○
D 4 b	超深部(3,000 ~ 15,000m)の環境、岩体調査及び評価技術	超深部掘削技術／高度土木建築技術／超深部掘削技術	○	1	○	○
D 5 a	廃棄物ハンドリング技術	メカトロニクス技術／知能ロボット技術	○	1	○	○
D 5 b	廃棄物ハンドリング技術	材料技術／耐環境材料技術	○	1	○	○
D 6 a	超深部シーリング技術、モニタリング技術	高度土木建築技術／超深部シーリング技術	○	1	○	○
D 6 b	超深部シーリング技術、モニタリング技術	材料技術／長寿命、高信頼性材料技術	○	1	○	○
D 6 c	超深部シーリング技術、モニタリング技術	センサー技術／超深部(連続)計測技術	○	1	○	○
【岩石溶岩処分】						
E10	材料技術(クラックフリー材料)	材料技術／インテリジェント材料技術(自己修復機能材料)	×	1	×	×
E11 a	廃棄物ハンドリング技術	メカトロニクス技術／知能ロボット技術	×	1	○	○
E11 b	廃棄物ハンドリング技術	材料技術／耐環境材料技術	×	1	○	○
E12	深部モニタリング技術	センサー技術／深部連続計測技術	○	1	○	○
E7	深部(2,000m)掘削技術、坑道維持技術	高度土木建築技術／深部掘削技術、坑道維持技術	○	1	○	○
E8 a	迅速シーリング技術	高度土木建築技術／迅速シーリング技術	○	1	○	○
E8 b	迅速シーリング技術	材料技術／高速シール材料技術	○	1	○	○
E9	モニタリング技術(耐熱)	高度計測技術／高温連続計測技術	○	1	○	○
【島内処分】						
F13 a	島内地下水理に関する研究技術	高度計測技術	○	1	○	×
F13 b	島内地下水理に関する研究技術	C T 技術／ジオトモグラフィ技術	○	1	○	○
F14	耐腐食性材料技術	材料技術／耐食性材料技術	○	1	○	○
【水床処分】						
G15	耐食性容器(含温度差)材料技術	材料技術／耐食・耐熱衝撃材料技術、容器設計技術	○	1	○	×
G16 a	海没キャスク回収技術	メカトロニクス技術／ソナー技術	○	1	○	○
G16 b	海没キャスク回収技術	海洋探査技術／深海潜水船技術	○	1	○	○
G17	廃棄物輸送技術(含インフラ技術)	メカトロニクス A I 技術／知能ロボット技術(連続ロボット)	○	1	○	○
G18	水層内モニタリング技術	高度計測技術／低温連続計測技術	○	1	○	○
G19	水層、基盤岩探査技術	高度計測技術／ジオトモグラフィ技術	○	1	○	○
G20	水層穿孔技術	高度土木建築技術／低温鋸削技術	○	1	○	○
【井戸注入処分】						
H21	廃棄物性状の最適化技術	材料技術／材料設計技術	○	1	○	×
H22	地下安定性評価技術	評価技術／長期シミュレーション技術、高精度土質データ取得・解析技術	○	1	○	○
H23 a	注入、固化化材料技術	材料技術／材料設計技術	○	1	○	○
H23 b	注入、固化化材料技術	超電導技術／極低温技術	○	1	○	○
H24 a	シーリング技術	高度土木建築技術／シーリング技術	○	1	○	○
H24 b	シーリング技術	材料技術／長寿命、高信頼性材料技術	○	1	○	○
【海洋底下処分】						
I25 a	サイト選定技術	海洋探査技術／深海掘削技術、海底ケーブル地震探査技術	○	1	○	×
I25 b	サイト選定技術	評価技術／長期シミュレーション技術	○	1	○	×

① 地層処分又は代替処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術

② 関係者のニーズが大きい技術

③ 適用の段階の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術

④ 現行の概念に変化、ブレークスルーを与える技術

表-9 重要要素技術の重要度・要求性能による評価（5／5）

コード	重要要素技術	高度基盤技術	①	②	③	④
I26 a	輸送システムの設計技術	海洋探査技術／深海潜水船設計技術	○	1	x	x
I26 b	輸送システムの設計技術	メカトロニクス技術	○	1	x	x
I27 a	ペネトレータ設計技術	宇宙・航空技術／ロケット設計技術	○	1	x	x
I27 b	ペネトレータ設計技術	海洋探査技術／深海潜水船設計技術	○	1	x	x
I28		高度土木建築技術／深海掘削技術	○	1	x	x
I29 a	処分孔掘削技術	A I 技術／知能ロボット	○	1	x	x
I29 b	廃棄体ハンドリング、定置、確認技術	高度計測技術／海洋底センシング技術（ソナー）	○	1	x	x
I30 a	廃棄体ハンドリング、定置、確認技術	材料技術／耐圧・耐食性、海水中、容器材料技術	○	1	x	x
I30 b	人工バリア材料技術（耐圧、耐食性、海水中、容器材料技術）	評価技術	○	1	x	x
I31 a	安全性評価技術	評価技術／長期シミュレーション技術	○	1	x	x
I31 b	安全性評価技術	材料技術／性能評価試験技術	○	1	x	x
I32	原位置試験技術	海洋探査技術／ソナー技術	x	1	x	x
【群分類】				①	②	③
J33	群分離の定量的評価技術	高度計測技術／レーザ分光分析技術	○	1	x	x
J34	有用金属分離回収技術	新分離技術／バクテリアリーチング技術	○	1	x	x
J35 a	工業プロセス化技術 →高効率化	システム技術／効率向上技術	○	1	x	x
J35 b	工業プロセス化技術 →高効率化	メカトロニクス技術／オートメーション技術	○	1	x	x
J36 a	分離技術高度化技術	システム技術／効率向上技術	○	1	x	x
J36 b	分離技術高度化技術	メカトロニクス技術／オートメーション化技術	x	1	x	x
【消滅処理】				①	②	③
K37 a	基本物性データ整備技術	大規模データベースの整備／システム化	○	1	x	x
K37 b	基本物性データ整備技術	センサー技術／高精度データ計測技術	○	1	x	x
K38 a	消滅効率確認・評価技術	評価技術	○	1	x	x
K38 b	消滅効率確認・評価技術	高度計測技術センサー技術／TRU高精度計測技術	○	1	x	x
K39 a	炉（処理システム）運転向上技術	メカトロニクス技術／システム効率向上技術	○	1	x	x
K39 b	炉（処理システム）運転向上技術	A I 技術／オートメーション化技術	○	1	x	x
K40	炉（処理システム）本体開発技術	システム技術／炉（システム）設計技術	○	1	x	x
【宇宙処分】				①	②	③
L41	廃棄物固化化技術	材料技術／材料設計技術	○	1	x	x
L42	耐熱性容器設計技術	材料技術／耐熱材料設計技術	○	1	x	x
L43	宇宙移送システム設計技術	宇宙・航空システム技術／システム設計技術	○	1	x	x
L44	モニタリング技術	高度計測技術／長期連続計測技術	○	1	x	x
L45 a	安全評価技術	評価技術／長期シミュレーション技術	○	1	x	x
L45 b	安全評価技術	材料技術／寿命評価試験技術	○	1	x	x

① 地層処分又は代替処理処分の具体化に直接関連し重要な位置付けにある技術

## ② 関係者のニーズが大きい技術

③ 通用の箇所の環境条件が厳しいか、又は要求性能が高い技術  
④ 現行の概念に変化<sup>アレルギー</sup>したときの対応技術

#### ④ 現行の概念に変化、ブレークスルーを与える技術

①, ③, ④で○としたものについては、④が最も重要な項目と考え10倍、①と③とでは①の方が重要なものとして5倍、③を2倍とするものとした。

①については、直接関連しないものとして×を与えたものは、基本的にその後の検討の価値はないものとして係数は0とした。

## (2) 評価基準の設定

前項の①, ②, ③, ④の積が100ポイントを上回るものを重要要素技術として選択するものとする。従って、②のニーズが1件であっても、他の項目全てが○であるならば選択対象となり、逆にニーズが極めて高くても他の評点が極端に低ければ選択対象とはならない。

なお、代替処理処分については、②のニーズの件数はすべて1点としているため、①, ③, ④のすべてが○と判断されたもののみを選択することになる。

### 3.1.3 対象技術のリストアップ

#### (1) 評価基準による絞り込み

3.1.2で設定した定量化方法及び評価基準により、重要要素技術を選択した結果を表-10に示す。

#### (2) 技術の具体化

表-10でリストアップされた基盤技術（および基盤技術の細分類）を分類すると以下の技術に分けられる。

##### ① 地層処分関連技術

高度基盤技術	基盤技術細分類
評価技術	リモートセンシング／ジオトモグラフィー技術／超長期の地殻変動（地震）予知技術／長期シミュレーション技術、高精度土質データ取得・解析技術／長期予測技術、シミュレーション技術
A I 技術	フラクタル解析技術／推論技術／シミュレーション技術／地下水解析技術／コンピュータシミュレーション技術／大規模データベース技術／データ高精度化技術
C T 技術	ジオトモグラフィー技術 非破壊検査（中性子、超音波、X線技術）／コンピュータグラフィックス技術
メカトロニクス技術	
高度計測技術	M R I 技術／センサーシステム化技術／光センサー技術
高度土木建築技術	掘削技術／地盤改良技術
材料技術	F R P（処分環境）／超耐熱耐圧切削材料創製技術／スーパーエンジニアリングプラスチック（処分環境）／セラミクス技術（処分環境）／高耐食性材料技術（処分環境）／長期寿命評価・試験技術（処分環境）／インテリジェントマテリアル技術／人工鉱物合成技術（処分環境）／機能性材料技術／複合材料技術

表-10 適用対象となる高度基盤技術の摘出（1／2）

コード	重 要 素 技 術	高 度 基 盤 技 術	①	②	③	④
【地層処分】						
A02 a	人工衛星を用いた地質調査技術	評価技術／リモートセンシング（スペクトラルセンシング）	○	7	○	○
A03 a	非破壊で地層の三次元的情報を得る技術	高精度計測技術	○○○	46	○○	○
A03 b	非破壊で地層の三次元的情報を得る技術	CT技術／ジオトモグラフィ（プロトン、超音波、レーザーパルス、電磁波）	○○○	46	○○	○○
A05 a	CT的手法を用いた地質調査技術	CT技術／非破壊検査（中性子、超音波、X線）技術	○○○	17	○○	○○
A05 b	CT的手法を用いた地質調査技術	高精度計測技術	○○○	17	○○	○○
A07 a	リモートセンシング手法の高度化による調査技術	高精度計測技術	○○○	27	○○	○○
A07 b	リモートセンシング手法の高度化による調査技術	評価技術／LDV（レーザドップラ流速計）、レーザーレーダ、CCDカメラ…etc.	○○○	27	××	××
A08	少量のデータから実際の状態を正確に推定する技術	A I技術／シミュレーション技術	○○○	8	○○	○○
A09 b	断層の状態を正確に推定する技術	A I技術／推論技術、シミュレーション技術	○○○	3	○○	○○
A11 a	ボーリングの高度化による地質調査技術	メカトロニクス技術	○○○	26	×	○○
A11 b	ボーリングの高度化による地質調査技術	材料技術／超耐熱耐圧切削材料創製技術	○○○	26	×	○○
A15 a	非破壊で地下水脈を把握する技術	高精度計測技術	○○○	3	○○	○○
A15 b	非破壊で地下水脈を把握する技術	A I技術／フラクタル解析技術	○○○	3	○○	○○
A18 a	地下環境を精密に再現できるシステム	高精度計測技術	○○○	8	○○	○○
A21	数千年にわたる地殻変動の正確な予測システム	A I技術／コンピュータシミュレーション技術／大規模データベースの基礎	○○○	9	○○	○○
A22	正確な超加速試験法を可能にする技術	材料技術／長期寿命評価・試験技術	○○○	9	○○	○○
A23 a	低透水性岩盤に対する透水性試験技術	高精度計測技術／MRI技術	○○○	6	○○	○○
A24 b	水みちの同定が可能な透水性試験技術	評価技術／ジオトモグラフィ技術	○○○	7	○○	○○
A30 a	地下水脈の正確な状況を把握する技術	高精度計測技術	○○○	15	○○	○○
A30 b	地下水脈の正確な状況を把握する技術	CT技術／ジオトモグラフィ技術	○○○	15	○○	○○
B01 a	数万年単位での地層、地質褶曲変化を予測する技術	評価技術／超長期の地殻変化（地震）予知技術	○○○	13	○○	○○
B01 b	数万年単位での地層、地質褶曲変化を予測する技術	大規模コンピュータ技術／大規模データベースの蓄積	○○○	13	×	○○
B08	ガラスよりも耐久性、固定性に優れる固化体の技術	材料技術／スルーベンジニアリングプラスチクス、セラミックス技術	○○○	22	○○	○○
B09	核種無漏洩材料およびそのシステムの開発	材料技術／インテリジェントマテリアル技術	○○○	29	○○	○○
B16	防歫、防錆性に優れる新素材の開発	材料技術／高耐食性材料技術	○○○	16	○○	○○
B22	特定核種のみを選択的に吸着する材料の開発	材料技術／機能性材料技術（分子ふるい；バイオ材料）	○○○	17	○○	○○
B23	化学的に安定な新素材の開発	材料技術／人工鉱物合成技術、セラミックス合成技術	○○○	7	○○	○○
B27	周辺地質の機能性を向上技術	高精度土木建築技術／地盤改良技術	○○○	4	○○	○○
B30 a	岩盤の長期安定性評価システムの開発	評価技術／長期シミュレーション技術、高精度土質データ取得・解析技術	○○○	4	○○	○○
B31	新しいモニタリング概念、システムの開発	高精度計測技術／センサーシステム化技術	○○○	36	○○	○○
B33 a	グラウト以外の増強工法の開発	高精度土木建築技術／掘削技術	○○○	1	○○	○○
B35 b	局所的腐食、劣化の防止及び検知システムの開発	高精度計測技術／光センサー技術、システム化技術	○○○	1	○○	○○
B38 a	高耐久性セメント系材料の開発	材料技術／寿命評価・試験技術（加速寿命試験），複合材料技術	○○○	1	○○	○○
C01 a	高精度な地質評価システムの開発	評価技術	○○○	6	○○	○○
C02	精密なコンピュータシミュレーション技術	A I技術／データ高精度化技術	○○○	23	○○	○○
C04 b	地下水と地表水の相互関係の解析技術	A I技術／地下水解析技術	○○○	3	×	○○
C08 a	人工バリアの機能の劣化要因の評価手法の開発	高精度計測技術	○○○	8	×	○○
C08 b	人工バリアの機能の劣化要因の評価手法の開発	材料技術／寿命評価・試験技術	○○○	8	○○	○○
C10	人工バリアの経時変化の予測技術	材料技術／寿命評価・試験技術	○○○	1	○○	○○
C11 b	バリア内の各種パラメータの経時変化評価、解析手法の開発	評価技術	○○○	5	○○	○○
C14	コンピュータを導入した可視化技術	CT技術／コンピュータグラフィックス技術	○○○	4	○○	○○
C15 a	将来の変化を考慮にいれたシステム評価技術	評価技術／長期予測技術、シミュレーション技術	○○○	10	○○	○○

表-10 適用対象となる高度基盤技術の抽出（2／2）

コード	重 要 要 素 技 術	高 度 基 盤 技 術	①	②	③	④
【超深孔処分】						
D 1 D 2 D 3 c D 6 b D 6 c	超深部掘削技術、坑道維持技術 超深部耐環境材料、設計技術 超深部モニタリング技術 超深部シーリング技術、モニタリング技術 超深部シーリング技術、モニタリング技術	高度土木建築技術／超深部掘削技術、坑道維持技術 材料技術／耐高压高温材料、耐食材料 材料技術／耐高压・高温材料 材料技術／長寿命、高信頼性材料技術 センサー技術／超深部（連続）計測技術 高度計測技術／超深部（連続）計測技術	○ ○ ○ ○ ○	1 1 1 1 1	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
【岩石溶融処分】						
E12 E9	深部モニタリング技術 モニタリング技術（耐熱）	センサー技術／深部連続計測技術 高度計測技術／高温連続計測技術	○ ○	1 1	○ ○	○ ○
【島内処分】						
F13 b	島内地下水理に関する研究技術	CT技術／ジオトモグラフィ技術	○	1	○	○
【水床処分】						
G19	水層、基盤岩探査技術	高度計測技術／ジオトモグラフィ技術	○	1	○	○
【井戸注入処分】						
H22	地下安定性評価技術	評価技術／長期シミュレーション技術、高精度土質データ取得・解析技術	○	1	○	○
【海洋底下処分】						
I28	処分孔掘削技術	高度土木建築技術／深海掘削技術	○	1	○	○
【群分離】						
J36 a	分離技術高度化技術	システム技術／効率向上技術	○	1	○	○
【消滅処理】						
K40	炉（処理システム）本体開発技術	システム技術／炉（システム）設計技術	○	1	○	○
【宇宙処分】						
L41 L42 L43	廃棄物固化化技術 耐熱性容器設計技術 宇宙移送システム設計技術	材料技術／材料設計技術 材料技術／耐熱材料設計技術 宇宙・航空システム技術／システム設計技術	○ ○ ○	1 1 1	○ ○ ○	○ ○ ○

## ② 代替処理処分関連技術

	高度基盤技術	基盤技術細分類
超深孔処分	高度土木建築技術	超深部掘削技術／坑道維持技術
	材料技術	超高压高温材料／耐食材料／長寿命・高信頼性材料
	センサー技術	超深部（連続）計測技術
	高度計測技術	超深部（連続）計測技術
岩石溶融処分	センサー技術	深部連続計測技術
	高温計測技術	高温連続計測技術
島内処分	CT技術	ジオトモグラフィ技術
氷床処分	高度計測技術	ジオトモグラフィ技術
井戸注入処分	評価技術	長期シミュレーション技術／高精度土質データ取得・解析技術
海洋底下処分	高度土木建築技術	深海掘削技術
群分離	システム技術	効率向上技術
消滅処理	システム技術	炉（システム）設計技術
宇宙処分	材料技術	材料設計技術／耐熱材料設計技術
	宇宙・航空システム技術	システム設計技術

これらの技術を適用対象技術として具体化するに際して以下の点に留意して検討を行った。

- ① 評価技術／システム技術／材料技術に関しては対象が明らかになって始めて技術の具体性がでることから、対象を明確化した上で技術の具体化を行った。
- ② 基盤技術細分類においてすでに具体的な技術が提示されているものに関してはこれを取り上げるものとした。
- ③ 代替処分に関しては、処分方法と対応させて整理することとした。

上記の留意点を踏まえた結果、技術の具体的な絞り込みが必要となったのは以下の技術となった。これ以外の技術に関しては直接リストアップされているものを適用対象技術とする。

① 地層層処分関連技術

高度基盤技術	基盤技術細分類
評価技術	リモートセンシング／長期ミュレーション技術／長期予測技術／超長期の地殻変化（地層）予知技術／高精度土質データ取得・解析技術
A I 技術	推論技術／シミュレーション技術／地下水解析技術
C T 技術	コンピュータグラフィックス技術
メカトロニクス技術	
高度計測技術	センサーシステム化技術
高度土木建築技術	掘削技術／地盤改良技術
材料技術	F R P（処分環境）／ スーパーエンジニアリングプラスチック（処分環境）／ セラミクス技術（処分技術）／高耐食性材料技術（処分環境）／ 長期寿命評価・試験技術（処分環境）／ 人工鉱物合成技術（処分環境）

② 代替処分関連技術

高度基盤技術	基盤技術細分類
評価技術	長期シミュレーション（地層）／ 高精度土質データ取得・解析技術
システム技術	効率向上技術（群分離）／炉設計技術（消滅処理）
センサー技術	深部連続計測技術
航空宇宙システム技術	システム設計技術
高度計測技術	高温連続計測技術／超深部連続計測技術
高度土木建築技術	超深部掘削技術／坑道維持技術
材料技術	耐食・耐熱衝撃材料（氷床）／容器設計技術（氷床）／ 耐熱材料設計技術（大気中・墜落時）／ 耐高温・高压材料（海洋底・処分環境）／ 長寿命・高信頼性材料（処分環境）

次にこれらの技術については、以下の方法で技術の具体化を行った（以下では地層処分／代替処分を同時に整理している）。

(a) 評価技術：

長期シミュレーション、超長期の地殻変化予知技術等としては、地層について長期評価としてモデル化にフラクタル理論を用いて解析的に予測を行う研究が近年進歩しつつあり、この技術を取り上げて「フラクタル理論による地質の長期評価技術」を適用対象技術とした。

リモートセンシングおよび高精度土質データ取得・解析技術に関しては、基本的には従来技術の改善が主流であったが、近年の高温超伝導体の研究によりSQUIDの高度化が期待されることが具体的な技術革新として想定されることから、適用対象技術として「高温超伝導体によるSQUID」を取り上げた。

(b) システム技術：

「効率向上技術（群分離）」に対しては、従来の分離技術の性能・精度を大幅に越える可能性のあるレーザー分離技術を、また「炉設計技術（消滅処理）」に対応する技術としては、現在、高速炉、消滅処理専用原子炉、反応核変換技術（電子加速器）及び核破碎技術（陽子加速器）などの技術が考えられているが、これらの技術のうち、原子炉は従来技術の延長線上にあることから、加速器に関する技術を適用技術として選択した。

(c) 航空宇宙システム技術：

宇宙移送システム設計技術としてはより高い信頼性を目指したロケット技術の高度化とEMMDを適用技術として選択した。この点では、現在、他のオプションとして具体的な技術を特定することはできなかった。

(d) A I 技術：

推論技術／シミュレーション技術／地下水解析技術に関しては、重要要素技術として「非破壊で地下水脈を把握する技術／断層の状態を正確に推定する技術／地下水と地表水の相互関係の解析技術」が挙げられているが、これらは評価技術での地質の長期評価技術の基礎となっているものと考えて具体的に適用対象技術の抽出は行わなかった。

(e) C T 技術：

CT技術としては、各種の測定・調査、シミュレーション計算による3次元データの視覚化の手法として、情報量が膨大なものや高解像度を要求される事例への適用が研究されている「ボクセル構造」を適用対象技術とした。

(f) メカトロニクス技術：

重要要素技術として「ボーリングの高度化による地質調査技術」が挙げられているが、これらの技術は、高度土木建築技術の一部と考えて具体的な技術を抽出していない。

(g) 高度計測技術／センサー技術：

これには多くの重要要素技術が対応しており、地下深部の地下水の状態を含めた信頼性が高く長寿命のセンサーシステムが求められている。この点に関しては次のように適用対象技術を具体化した。

(i) 地下水用のセンサー

地層処分においては地下水中の溶存物質の検知が重要となり、この点からはバイオセンサー／イオンセンサーが有効と考えられている。

(j) センサーシステムの耐環境性向上

伝送系の耐環境性向上技術としては光ファイバーが最も有効と考えられる。この他にノードの耐環境性が重要となる。ノードの耐環境性向上と同様な点から、超深孔処分、岩石溶融処分での極限環境（熱、圧力）にセンサーが耐えることが重要となるものとして適用対象技術とした。

(k) センサーシステムの信頼性向上

ネットワークとしての頑健性の向上、並びにセンサの自己診断機能の複合化（スマートセンサ）が重要となる。

(l) 高度土木建築技術：

掘削技術としては機械掘削技術の開発が進んでおり、また、岩盤を傷めない技術としてスムースプラスティングの適用が考えられる。しかし、今後の開発ターゲットとしては機械掘削としては特に超深部における大口径超深部掘削が、また岩盤を傷めない掘削法としてはレーザーによる掘削法が有効と考えて適用対象技術として抽出した。

(m) 材料技術：

材料技術に関しては、具体的な材料開発の方向性を明らかにすることが重要となる。ここでは、F R P／スーパーエンジニアリングプラスチック等の有機系材料の耐環境性に問題があることから、超深孔及び地層処分環境において超長期の廃棄物閉じ込めを実現する材料として、耐食性を極限まで高めるオプション、並

びに腐食等により環境機能を維持するオプションを適用対象技術とした。

以上の検討により具体的な技術を抽出し整理した結果を表-11, 12に示した。

表-11 地層処分での適用対象技術

適用処分方法	計画での適用箇所	適用環境	ニーズ	適用対象技術
地層処分	調査・解析	空	人工衛星からの広域的な地質情報	高温超伝導体によるSQUID
地層処分 地層処分 地層処分	調査・解析 調査・解析 調査・解析	地上、地下 地上、地下 地上、地下	地質の三次元情報 非破壊の透水性試験方法 非破壊の透水性試験方法	ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波) 中性子探査技術 核磁気共鳴探査技術
地層処分 地層処分 地層処分	調査・解析 調査・解析 調査・解析	室内 室内 室内	材料の長期評価 地層の長期評価 三次元構造を表現可能なソフトウェア技術	超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術 フラクタル理論による地質の長期評価技術 ボクセル構造による地質構造の表現
地層処分	建設	地下坑道	クラックの発生が抑えられるボーリング技術	レーザーによる掘削技術
地層処分 地層処分 地層処分 地層処分 地層処分 地層処分 地層処分	処分後 処分後 処分後 処分後 処分後 処分後 処分後	モニタリング モニタリング モニタリング モニタリング モニタリング モニタリング モニタリング	環境変化を検出するセンサー 環境変化を検出するセンサー 環境変化を検出するセンサー センサーからのデータ転送技術 耐環境性のセンサー技術 耐環境性のセンサー技術 耐環境性のセンサー技術	バイオセンサー イオンセンサー 光ファイバーセンサー 耐放射線光ファイバー ノードの耐環境性 センサーのネットワークとしてのロバストネス スマートセンサー技術（故障自己診断機能等）
地層処分 地層処分	処分後 処分後	処分環境 処分環境	耐食性能 耐環境性	超耐食性材料 環境条件を環境維持作用をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持

表-12 代替処理処分での適用対象技術

適用処分方法	シナリオでの適用箇所	適用環境	ニーズ	適用対象技術
超深孔処分 超深孔処分 超深孔処分 超深孔処分	建設 モニタリング 処分後 処分後	地下坑道 処分環境 処分環境 処分環境	掘削技術 耐環境性のセンサー技術 耐化学環境、構造強度 耐環境性	大口径超深部掘削技術 耐熱性(200~300度)、耐圧センサー 環境条件を環境維持作用をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持 超耐食性材料
岩石溶融処分	処分後	処分環境	耐環境性のセンサー技術	耐熱性(200~300度)、耐圧センサー
島内処分	調査・解析	地上	地質の三次元情報	ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)
氷床処分	調査・解析	地上	地質の三次元情報	ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)
井戸注入処分	調査・解析	地上	地質の三次元情報	ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)
海洋底下処分	建設	海底	海底での作業機械	海底作業用の掘削技術
群分離	運転	地上	高効率の分離技術	レーザーによるアクチニド分離
消滅処理	運転	消滅処理施設	高効率の消滅処理	反応核変換技術(電子加速器)、核破碎技術(陽子加速器)
宇宙処分 宇宙処分 宇宙処分	打ち上げ 打ち上げ 打ち上げ	大気中 大気中 大気中	耐熱、耐衝撃、軽量 安全性の向上 安全性の向上	(CERMET) ロケット技術の高度化 EMD

### 3.2 地層処分に適用可能な技術の調査

本項では、3.1項で摘出した適用対象高度基盤技術のうち、地層処分への適用が考えられる次の技術について調査、整理を行った結果を示す。

#### (1) 調査・計測技術関連

- ① 高温超伝導体による量子干渉装置（S Q U I D）（表-16参照）
- ② ジオトモグラフィー技術（表-17参照）
- ③ 中性子探査技術（表-18参照）
- ④ 核磁気共鳴探査技術（表-20参照）

#### (2) 解析技術関連

- ① 超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術（表-21参照）
- ② フラクタル理論による地質の長期評価技術（表-22参照）
- ③ ボクセル構造による地質構造の表現（表-23参照）

#### (3) 処分技術関連（モニタリング、人工バリア関連）

- ① レーザーによる掘削技術（表-26参照）
- ② バイオセンサー技術（表-27参照）
- ③ イオンセンサー技術（表-28参照）
- ④ 耐放射線光ファイバー技術（表-30参照）
- ⑤ スマートセンサー技術（表-31参照）
- ⑥ 超耐食性材料（表-32参照）

なお、光ファイバーセンサーは昨年度調査を実施した。ノードの耐環境性、センサーのネットワークとしてのロバストネス、環境条件を環境維持作用をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持については、具体的な調査は行っていない。

表-16 地層処分に適用可能な技術の調査

(高温超伝導体によるSQUID)

分 野	地層処分
適用技術	高温超伝導体による超伝導量子干渉装置 (SQUID) (SQUID : Super Conducting Quantum Interface Device)
新技術の現状	現在、SQUIDで測定できる地場の強さは $10^{-13}$ T (T : 磁束密度を現す) のオーダーであるので、十分に微少な地場の変化を測定可能である。
新技術の 適用概念	<p>人工衛星からのデータ I G R F (国際標準地球磁気磁場)</p> <p>1. 位置データ 2. 磁気値</p> <p>1. 位置データ 2. 磁気値</p> <p>↓</p> <p>↓</p> <p>時間変動除去 →</p> <p>マコグンネットロティカル</p> <p>IGRF 残差計算</p> <p>I空G中R磁F氣残異差常図</p> <p>1. 磁気値 地上定点磁気測定</p>
従来技術と 新技術との 比 較	現在、空中探査に用いられている航空機やヘリコプターに磁力計を搭載して測定を行う方式と比較して、人工衛星にSQUIDを搭載して測定を行った場合、①広範囲を迅速に、②測定位の精度が向上、③磁気値の精度が向上、等のメリットが考えられる。また、①の理由により地磁気の時間変化を低減することが可能となり、地上定点における磁気測定による磁気値の補正が軽減されることも考えられる。
新技術適用に 当たっての 課 題	超伝導状態を保持するためには冷却装置が必要となり大型化するため、高温超伝導（現在のところ約130 K (約-140°C)）技術の利用によるコンパクト化が必要になる。
今後の展望	SQUID技術はコンピュータのスイッチング素子として、その高速動作化を目指した研究が行われている。これらの分野から要素技術が進歩し、適用分野が広がるものと考えられる。

表-17 地層処分に適用可能な技術の調査

(ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、地震波))

分 野	地層処分
適用技術	ジオトモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、地震波)
新技术の現状	<p>ジオトモグラフィーは、調査の対象となる領域近傍に測定点を配置し、その領域の地質状況を出来るだけ詳細に求めようとする方法であり、我国においては、1983年頃から研究が始まった。主なジオトモグラフィーには現状次の3種類がある。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① サイスマミットモグラフィー(弾性波の速度分布を得る)</li> <li>② レーダートモグラフィー(電磁波の速度分布を得る)</li> <li>③ 比抵抗トモグラフィー(電気比抵抗の分布を得る)</li> </ul> <p>(表-18、図-24、25、26参照)</p>
新技术の適用概念	<p>① サイスマミットモグラフィー 硬岩や軟岩の分布、断層・破碎帯の分布や規模の調査に利用されている。原理的にはP波の到達時間よりP波の速度分布をインバージョンで求め2~3次元速度断面を求める。</p> <p>② レーダートモグラフィー 地盤内にレーダーを発射し、地層の境界や割れ目、空洞などからの反射を測定し、2~3次元断面を求める。</p> <p>③ 比抵抗トモグラフィー 電気比抵抗の分布をインバージョン解析法で求めるもので、地下における電気比抵抗分布を求ることで地質区分、風化、割れ用分布を把握する。これらの機能を利用し地層処分の地質調査が可能である。</p>
従来技術と 新技术との 比 較	従来法では、求めることのできなかった複雑な地下の状況を求めることが可能。
新技术適用に 当たっての 課 題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 探査範囲の拡大(サイミックトモグラフィー)</li> <li>② 透過距離の拡大(レーダートモグラフィー)</li> <li>③ 解析ソフトの開発</li> </ul>
今後の展望	地下情報把握に関するニーズは今後益々大きくなると予想されること、又は電気的な要素技術の著しい進歩が期待されることから、ジオトモグラフィーの適用領域は拡大するものと思われる。

表-19 地層処分に適用可能な技術の調査

(中性子探査技術)

分 野	地層処分
適用技術	中性子探査技術
新技術の現状	廃棄物処分場の安全性にとって重要な要素のひとつは、非飽和層中の地下水の移行状態のモニタリングであり、近年、中性子を利用し、含水量の変化及び流速を測定することが米国等で試みられている。 また、岩盤の間隙率の測定にも適用されている。
新技術の適用概念	中性子検層は、中性子線源から地層に高速中性子を放射して地層を構成している物質の原子核と反応させ、その反応過程で形成される熱中性子の強度を深度に対応させて連続的に測定記録し、データを得る。 このことを利用し局所的ではあるが、処分場の地層の含水量、地下水流などの測定可能である。
従来技術と新技術との比較	従来の探査技術（抵抗法、弾性波、電磁波法）では岩層の間隙率、含水量、地下水流速を測定できないが、中性子を用いることでこれらの情報が得ることができる。
新技術適用に当たっての課題	① 測定範囲が狭い。 ② 粘土鉱物がもつ結合水にも反応するため、測定値の補正が必要。
今後の展望	CT技術との融合、解析ソフトの高度化が予想され、有力な地下情報手得手法の一つになり得ると考えられる。

表-20 地層処分に適用可能な技術の調査  
(核磁気共鳴探査技術)

分 野	地層処分
適用技術	核磁気共鳴探査技術 (MRI ; magnetic resonance imaging)
新技術の現状	MRIは1971年に米国のDamadianによる悪性腫瘍の緩和時間が正常組織のそれに比べて長いという報告により本格的に始まり、X線CTで培われた技術を基に発展してきた。MRIは開発当初の予想とは反対に、頭部画像などでX線CTを凌駕するまでに至っており、生体からのさまざまな情報（緩和時間、プロトン密度）を含んだ形で画像診断に供するものとなっている。（図-31、32、33参照）
新技術の適用概念	NMR信号から測定対象物中の目的の原子核に関する次の情報が取り出せる。 ① 密 度：測定領域内の共鳴に関与する磁気モーメントの数はNMR信号強度に比例することから、目的の原子核の存在量が分かる。 ② 移 動：物質内の流れや拡散はNMR信号の強度・周波数・位相を変える。 これらの特徴を地下情報取得へ利用するには対象領域に数テスラ以上の均一静磁場と高周波磁場を同時に発生させる必要があるが、大規模な装置が開発されれば適用の可能性が出てくると思われる。
従来技術と新技術との比較	従来の地下情報を得る手段としてはボーリングを行いセンサー等にて測定されているため局部的な情報しか得られていない。 MRIが地層情報調査に適用できれば広い領域にてその情報が3次元的に得られる。
新技術適用に当たっての課題	① 静磁場発生方法と高周波磁場発生方法及びその配置 ② 水の存在量と検出感度の関係把握 ③ 大きな磁場強度を要する。
今後の展望	MRIの医療分野への適用は今後一層進むと考えられるが、地下情報調査分野へは基礎的な適用研究を実施し、その可否を検討することが前提となる、と思われる。

表-21 地層処分に適用可能な技術の調査

(超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術)

分 野	地層処分
適用技術	超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術
新技術の現状	鉄、ペントナイト、コンクリート等の地層処分に用いられる材料の健全性については、鉄に関しては劣化要因を把握した上で比較的短い(100年程度)期間での評価測定方法(加速試験、暴露試験)がかなり確立したものとなっている。しかし、ペントナイト、コンクリートについてはその研究はまだ緒についたばかりである。ただし、地層処分で対象とするような超長期の評価に関しては試験による実証がきわめて困難であるので、ナチュラルアナログ或は考古学的アナログのような現象を参考として、予測の傍証とすることが試みられているが、実際に想定される環境、材料と類似現象との相関の取り方等にはさらなる研究の必要がある。
新技術の適用概念	<p>下図のような評価方法を確立して、各材料の超長期の健全性を評価する。</p> <pre> graph TD     A["ナチュラルアナログ 考古学的アナロジー"] --&gt; B["超加速試験"]     B --&gt; C["コンピュータシミュレーション"]     C --&gt; D["超長期の健全性"]   </pre>
従来技術と新技術との比較	現在用いられている各種の評価手法は高々数十年程度の評価期間を対象としているが、超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術により、千年程度の評価が可能となれば、処分の安全性を不確実性を低減させることができる。
新技術適用に当たっての課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 超加速試験の加速方法、環境の模擬方法</li> <li>② ナチュラルアナロジー、考古学的アナロジーでの類似現象と対象としている環境との相関方法</li> </ul>
今後の展望	地層処分の置かれる環境についての研究、各種材料の長期健全性の評価が鋭意行われているが、原位置での試験、閉鎖後の環境変化等についての試験により多くのデータを入手していく必要がある。

表-22 地層処分に適用可能な技術の調査

(フラクタル理論による地質の長期評価技術)

分 野	地層処分
通用技術	フラクタル理論による地質の長期評価技術
新技術の現状	フラクタルはマンデルブローにより考案された概念で、特徴として自然の自己相似性と複雑な事象の単純化に特徴を持っている。複雑な图形の構成要素も比較的単純な構成要素に分解し再構成することにより表現が可能である。具体的には、海岸線、雲、樹木、葉脈、岩肌等の自然の自己相似形状を表現するのに応用されている。視覚的にフラクタルを表現するにはランダムフラクタルを用いる方法が開発されている。図3.2(2)-1,2にその概念図を示す。
新技術の適用概念	実際の岩石中の割れ目の分布を精密に観測を行うと、割れ目の長さとその本数の分布は、フラクタル分布に近づくことが確認されている。岩石の割れ目では破碎幅の分布もフラクタル分布に従うと考えられる。このことから岩盤割れ目の構造表現を行う方法として、フラクタルの適用が有効であると考えられている。地層内の割れ目、クラック等の構造を画像的に表現する、あるいは構造的な評価を行う場合に適用が可能であると考えられる。
従来技術と新技術との比較	従来の人間の観察に基づく岩盤割れ目の構造表現の場合、細かい割れ目の省略、計測の取りこぼしが生じたり、非常に大きな割れ目の場合、計測領域からはずれる場合があり、取りこぼしの危険性がある。フラクタルを用いることにより上記の危険性を取り除くことが可能であると考えられる。
新技術適用に当たっての課題	岩盤割れ目がフラクタル構造であるとした場合、岩盤において ①異なる任意の大きさの岩盤割れ目の予測・評価 ②計測の対象とする割れ目の大きさの定量的な判断 ③サイトがその地域のなかで平均値から程度離れているか等の情報も入手する必要がある。
今後の展望	従来は視覚的なフラクタル形状の表現に適用されてきたが、統計的にフラクタル分布をするものへの適用が進むと考えられる、地層割れ目は統計的なフラクタル構造を持つと考えられ、地層での水分移動・物質の評価に適用が可能であり、水分・物質の移動量の推定への適用が考えられる。

表-23 地層処分に適用可能な技術の調査

(ボクセル構造による地質構造の表現)

分 野	地層処分
適用技術	ボクセル構造による地質構造の表現
新技術の現状	<p>ボリュームデータを3次元格子で分割した個々の格子内をボクセル（Voxel）と呼び、各ボクセルは温度、密度、速度といった物理量をデータとしてもっている。ボクセル空間の概念図を図3.2(2)-3に示す。ボクセルを用いて、3次元データを視覚化する場合、3次元の内部構造まで表現することが可能である。</p> <p>3次元の流体計算、CTスキャン、MRIで得られた人体の内部構造等のボリュームデータの3次元視覚化への適用が試みられている。</p> <p>3次元ボリュームのスクリーンへの投影方法としては、レイ・スキャニング法、多重面合成法等がある。</p>
新技術の適用概念	<p>MRI、NMR、超音波探査等によるデータや、CTなどによるトモグラフィデータを3次元画像として視覚化するのに用いることが検討されている。具体的には、医療での3次元データ（脳、動脈等の体内組織の内部構造データ）の視覚化への適用が研究されている。</p> <p>地層処分への適用としては、地層の内部構造の視覚化を行うことが考えられ、ジオトモグラフィ等による地層データの視覚化に適用することにより、地質構造の把握がより容易になることが考えられる。</p>
従来技術と新技術との比較	<p>従来のポリゴン、プリミティブを用いたサーフェイスレンダリング手法のみでは、3次元の内部構造を表現していない。ボクセルから構成されるボリュームを直接処理するボリュームレンダリング手法を用いることにより、3次元の内部構造の表現が可能となる。</p>
新技術適用に当たっての課題	<p>ボクセルデータは3次元であり、精度をよくしようとすれば細かな格子にしなければならず、例えば<math>100 \times 100 \times 100</math>でも膨大なデータ量となるため、計算時間がかかるため、計算時間の短縮は不可欠である。</p>
今後の展望	<p>ボクセルデータの視覚化にレイ・トレーシング法を適用することにより、よりリアルな表現方法が開発されると考えられる。いずれにせよ、データの取り扱いでは計算時間の短縮がクリティカルであると考えられる。</p>

表-26 地層処分に適用可能な技術の調査  
(レーザーによる掘削技術)

分 野	地層処分
適用技術	レーザーによる掘削技術
新技术の現状	1960年にレーザーが発明されてから約30年が経過しており、これまで数万種を超えるレーザーの発振が報告されている。レーザーの応用分野は、光通信に使われる半導体レーザーから、距離計測に欠かせないヘリウムネオンレーザー、金属や生体を非接触で切断する炭酸ガスレーザー等、多岐に渡っている。土木分野においては、測量に広く利用されているが、掘削に関しては焼却における生体遮蔽用コンクリートの解体を目的とした研究が行なわれている段階である。岩掘削への適用についても、1960年代に低出力の装置を使った基礎研究が行なわれた後、注目すべき研究成果は公表されていない。
新技术の適用概念	レーザーによる岩掘削技術の予想概念を図-37~40に示した。レーザー掘削技術は現時点では、出力、効率、装置コスト、装置ハンドリング性等の点でそのまま単純で実用に供することは不可能と考えられる。従って、これらの概念の内、図-39については、効率的に不可能である。緩み低減の観点から、図-37に示したスロット工法を用いて、既存の発破工法、機械掘削工法等と如何に組み合わせるかがポイントとなる。特に、レーザーの焦点を絞ることなく(非フォーカス)、広く浅く岩に照射し、その部分に熱応力によるクラックを発生せしめて緩め、機器掘削で除去するといった図-39の概念や切削溝中に注水し、レーザー照射により分解して出てくる水素の爆発を利用して破碎効率を増すといった図-40の概念の実用化が望まれる。実用化された場合、処分場の坑道掘削に適用できる。
従来技術と 新技术との 比 較	将来の掘削法に比べ、次の点で優れている。 ① 緩み領域の低減 ② 掘削自動化の可能性大。
新技术適用に 当たつての 課 題	① 各種岩盤を切断破碎するのに最適なレーザー波長の明確化 ② 必要レーザー出力の明確化と大出力レーザーの開発 ③ 機械掘削とレーザーを組み合わせた装置の具体化
今後の展望	現在レーザーによる岩盤掘削の基礎研究が行なわれており、波長及び出力等と掘削量との基本関係が明らかになり、さらに現実的な工法が考案されれば、将来レーザーの高度化に伴いその適用性は現実的なものとなり得ると考えられる。

表-27 地層処分に適用可能な技術の調査  
(バイオセンサー)

分 野	地層処分
適用技術	バイオセンサー
新技術の現状	酵素などの生体材料のもつ優れた分子認識機能を利用したバイオセンサーが開発され医療分野へ応用されている。このようなバイオセンサーのトランスデューサとして半導体素子や半導体加工技術を利用して作られた微小電極が用いられる。現在では水素イオン濃度、Naイオン、イオンのさらに中性脂質、尿素等の測定できるものが開発されている 図-41参照
新技術の適用概念	地層処分場のモニタリング対象が無機イオンのほか有機物質まで可能となり、幅広い環境モニタリングができる。
従来技術と新技術との比較	従来のセンサーでは、測定対象が单一のものが多かったが、各種酵素等を用いたマルチバイオセンサーとすることで、複数の物質を1つのセンサーで測定できる。
新技術適用に当たっての課題	① バイオ技術と半導体技術の融合 ② 微小センサーのため出力が小さく、誤差が大きい。
今後の展望	バイオと半導体技術の進歩により、従来検出が困難であった多種類の化学物質の計測が可能となり得る。

表-28 地層処分に適用可能な技術の調査  
(イオンセンサー)

分 野	地層処分
適用技術	イオンセンサー
新技術の現状	イオンセンサーによる測定はそのほとんどがネルンストの式に基づく電位差測定を基礎としている。すなわち、測定対象成分に応じて適当に選んだセンサーを参照電極と共に試験溶液に浸漬したときに生ずる電位差が、測定対象成分の濃度によって定まる現象を利用するものである既に数多くのイオンセンサーが開発されている。表-29及び図-42~44参照。
新技術の適用概念	溶液中のイオン濃度が精密に測定することができるので、地層処分場周辺の地下水中的イオンのモニタリングに適用できる。
従来技術と新技術との比較	イオンセンサーは従来技術。
新技術適用に当たっての課題	① 共存成分に基因する誤差を小さくする。 ② 放射性物質のイオンの検量線作成。
今後の展望	既に技術的にはほぼ完成されており、今後は信号処理の高度化が期待される。

表-30 地層処分に適用可能な技術の調査  
(耐放射線光ファイバー)

分 野	地層処分
適用技術	耐放射線光ファイバー
新技術の現状	<p>現在公衆通信用として広く使われているGeO<sub>2</sub>をドーパントした光ファイバーは、放射線特性が悪く、B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を用いたものが比較的よい。一方、純粋石英が最も耐放射線性が良好であるが、不純物のOH、Clのため影響を受ける。これらは、作製法及び条件に依存する。最近では耐放射線強化法として水素ガスを利用したものがある。</p> <p>図-45、46参照</p>
新技術の適用概念	<p>現在、再処理、原子力発電、核融合などの放射線環境下において、信号伝送、画像伝送に使用されている。</p> <p>同様に地層処分においても各種センサーからのモニタリング信号の伝送に適用できる。</p>
従来技術と新技術との比較	光ファイバーは銅線に比べ、線量、データ伝送量、誤り率とも優れている。
新技術適用に当たっての課題	地下に光ファイバーを敷設した場合、取り換えが困難なので、長期にわたり、高い伝送率が保持される必要がある。
今後の展望	石英系光ファイバーの耐放射線性は格段によくなってきており、劣化、回復などの原因が解明され、さらに耐放射線性の優れた光ファイバーが開発されるものと思われる。

表-31 地層処分に適用可能な技術の調査

(スマートセンサー技術（故障自己診断機能等）)

分 野	地層処分
適用技術	スマートセンサー技術（故障自己診断機能等）
新技術の現状	センサーの知能化は①影響量の補償や直線性などの特性改善、②自動校正、自己診断などの自律的機能付与の段階、がセンサデバイスと信号処理デバイスとの機能集積化により実現した程度であり、機能材料の物性を応用した信号処理機能付与や形態や構造自体がもつ信号処理機能の応用が今後発展するであろう。
新技術の適用概念	スマートセンサーシステムとして利用することで、地下情報を大局的に把握することが可能となる。例えばトモグラフィや地下埋設物の検出して適用することができる。 また、長期のモニタリングを行う場合、自動校正機能は重要である。
従来技術と新技術との比較	現在のセンサー技術は確立した状態量の検出には優れているが、空間的な広がりをもった状態の認識は不得手であったが、センサーとデバイスの融合したスマート化により特徴抽出た情報の圧縮が可能となる。
新技術適用に当たっての課題	① アナログ処理機構をもつ知能化デバイスの実現 ② 超格子やマイクロマシニングのような微細加工技術 ③ バイオテクノロジーとの融合
今後の展望	マイクロプロセッサやメモリの進歩に伴ないスマートセンサーの機能はより人間に近いものになると考えられ、有機的なモニタリングシステムへの可能性がある。

表-32 地層処分に適用可能な技術の調査  
(超耐食性材料)

分 野	地層処分
適用技術	超耐食性材料
新技術の現状	<p>超耐食性材料は、ガラス固化体のオーバーパック材として用いられるが、オーバーパックには一定期間にわたって放射性廃棄物を完全に閉じ込めることが期待されているので、長期にわたる耐食性が要求される。現在新しいオーバーパックの材質としてはセラミックスを含む各種の候補材料や複合材料について検討されており、その性能評価の方法を開発しながら、基礎データを蓄積している段階にある。研究においては錆鋼や銅についての腐食速度の予測や、チタン、ハステロイ等の耐食性材料についての腐食形態とその条件の評価が主として行われており、原位置環境を模擬した試験や緩衝材中の試験が国内外で実施されている。</p> <p>さらに新しい材料として、①アモルファス合金、②金属間化合物、③エンジニアリングプラスチック、④複合材料、⑤FRM（繊維強化金属）、⑥ファインセラミックス、⑦非酸化物セラミックスが考えられる。</p>
新技術の適用概念	超耐食性材料は高レベルガラス固化体のオーバーパックとして用いられる。なお、超深孔処分ではさらに耐熱、耐圧性が要求される。
従来技術と新技術との比較	鉄をオーバーパック材に用いた場合の腐食しろは、通常の地下水環境では1000年で50mm程度と考えられている。
新技術適用に当たっての課題	<p>① 長期にわたる耐食性の評価手法の確立</p> <p>② コスト</p>
今後の展望	新しく開発されつつある上記の①～⑦の材料は主として機能材であり、構造材として使用するには製造方法の確立が重要であり、かなり長期にわたり基礎研究が必要である。

### 3.3 代替処理処分に適用可能な技術の調査

本項では、3.1項で摘出した適用対象技術のうち、次の各々の代替処理処分への適用が可能と考えられる技術あるいは代替処理処分に必要と考えられる技術について調査、整理を行った結果を示す。

#### (1) 超深孔処分技術関連

- ① 大口径超深部掘削技術（表-33参照）

#### (2) 海洋底下処分技術関連

- ① 海洋作業用の掘削技術（表-34参照）

#### (3) 群分離・消滅処理技術関連

- ① レーザーによるアクチニド分離技術（表-35参照）

- ② 核破碎技術（陽子加速器）（表-36参照）

#### (4) 宇宙処分技術関連

- ① ロケット技術の高度化（表-37参照）

- ② C E R M E T（表-38参照）

なお、岩石溶融処分、島内処分、氷床処分、井戸注入処分での適用対象技術は、他の処理処分概念と重複することから、各々の調査結果を参考として以後の検討を進めるものとした。

表-33 代替処理に適用可能な技術の調査

## (大口径超深部掘削技術)

分野	超深孔処分
適用技術	大口径超深部掘削技術
新技術の現状	<p>大口径立坑掘削技術は大別して、4つに分類できる(図-48)。立坑掘削において注意しなければならない項目は、周辺岩盤へ与える緩み損傷程度、すり上げ性、安全性等である。これらの項目に着目して、各現場の地質状態に最適な掘削工法が選定される。超深孔掘削に関しては、特に増大する周辺地圧に対して、孔壁を如何に安定させるかが重要であり、その観点からすると、全断面機械掘削工法が適していると考えられる。機械掘削工法には種々の方法があるが(図-49~53)、緩みの観点からすると泥水を使用しながら、ケーシングチューブを設置し、孔壁安定化を図るシャフトボーリングマシンが最適である。現状、本法として最大級のものは孔径6~8m、掘削深度としては1000m程度である。(図-54)</p>
新技術の適用概念	<p>現状の技術では、シャフトボーリングマシン形式で直径10m程度、深度千数百mが限界であろう。この根拠は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① ピット摩耗寿命に限界があり、地上にて行う交換作業に大きな手間が掛かる。</li> <li>② 駆動力を伝達するシャフトの強度、剛性に限界があり、孔の直進度、方向性を確保するのが困難となる。</li> </ul> <p>従って、これらを改善することが超深孔地層処分用大孔径の掘削技術を開発するポイントとなる。適用概念をまとめると以下のようである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 現状の全断面機械式シールド掘削機(図-55)の立て型を開発する。</li> <li>② カッタビットの長寿命化と共に、機内からのカッタビット交換を可能とする装置を設ける。</li> <li>③ セグメント等、機材の上下運搬設備を設ける。</li> <li>④ 切羽に於ける掘削すり取り込み装置を設ける。</li> <li>⑤ セグメントと孔壁とのアンカリングを考慮する。</li> <li>⑥ 機械本体自重、カッタトルク反力支持のためのグリッパ機構を設ける。</li> </ul>
従来技術と新技術との比較	<p>従来、掘削技術は主として、発破工法であり、NATM工法を用いて、緩みの低減、地質変化に対する対応性を向上させるのが一般的である(図-48)。但し、湧水があったり、崩壊性の地盤であったり、大深度となり地圧が高くなると周辺地盤の緩み領域の発生、安全性の観点から本法は適用不可となり、泥水工法を利用するシャフトボーリングマシン等、全断面掘削機利用による工法のみ適用可能となる。</p> <p>これら従来方法に対して、立て型機械式シールド機の長所は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 方向制御が容易であり、直進性に優れる。</li> <li>② 大孔径に必要なカッタトルクが確保可能である。</li> </ul>
新技術適用に当たっての課題	<p>立て型機械式シールド機開発のための課題は以下の通りである。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① カッタビット摩耗寿命の向上と交換システムの開発。</li> <li>② 孔底に溜る掘削すりの収集技術の考案。</li> <li>③ 機材上下搬送設備の開発。</li> <li>④ セグメントの孔壁固定化技術の開発。</li> </ul>
今後の展望	<p>石油掘削技術、科学調査のための大深度ボーリングプロジェクト等、数十cm程度の小孔径であるならば、数km~十数kmの大深度掘削の実績があるが、m単位の大孔径立坑掘削技術については1000mが実用限界である。</p> <p>孔径10m、深度数千mの大孔径立坑掘削技術を開発するには、ここで提案した立て型機械式シールド機のように、全く新しい考えを適用する必要がある。このような立て型機械式シールド機については、ニーズさえあれば、現状技術にて十分開発可能なシステムであると言える。</p>

表-34 代替処理処分に適用可能な技術の調査  
(海底作業用の掘削技術)

分野	海洋底処分
通用技術	海底作業用の掘削技術
新技术の現状	海洋土木工事は近年大水深化、沖合化が進んでおり、悪環境下での潜水作業の安全性確保及び作業の高精度化並びに高能率化を促進するために、各種の水中作業用ロボットが開発されている(図-56)。最近の傾向として、高い作業精度並びに作業能力に対応させるため、海底に接続して移動しながら作業する走行式が使用されることが多い。大別すると歩行式とクローラ式に分類され(図-57~61)、海底地盤の状態によって使い分けられる。何れの場合も海上より有線にて操作されるが、最も進んだ形式のものは、半自立制御型自動掘削機で、自らの位置と掘削面形状を検知しながら、泥水中でしかも水圧駆動で作業するものであり、平成7年度完成を目指して国家プロジェクトとして研究が進められている。
新技术の適用概念	海洋底地層処分に適用可能な、水没自動掘削機の技術的特徴は以下の通りである(図-62)。 <ul style="list-style-type: none"> <li>① 地上より有線で作業内容を送信することにより、泥水雾囲気下で半自律作業が可能である。</li> <li>② そのため、泥水中で作動する自己位置検出センサー並びに掘削面の凹凸状況を非接触で検出可能なセンサーを持つ。</li> <li>③ 軟岩を高効率で掘削し、その掘削土砂を高濃度で地上に搬出可能な砂搬出装置を持つ。これらの装置部品は高寿命で、長時間メンテナンスフリーである。</li> <li>④ 凹凸の激しい地盤上を高速移動可能で、且つ位置決め精度が良好な走行装置を持つ。</li> <li>⑤ 水圧駆動であり、無公害である。</li> </ul> これらの各技術に加えて、数千m以深の海底作業に耐える耐水圧技術、完全自律制御方式が採用されるべきである。
従来技術と 新技术との 比較	従来、海底作業は作業船による海底浚渫作業、精度が要求される場合は潜水夫による直接作業が一般的であった。従って、以下の点で海洋底地層処分に伴う海底作業に適用できない。 <ul style="list-style-type: none"> <li>① 精々水深50mの作業が限界である。</li> <li>② 透明度が低く、視界が確保できない場合、精度良い作業が不可能であった。</li> <li>③ 精度が要求される作業については、潜水夫に頼るため、大規模且つ効率的な作業が不可能であった。</li> </ul> 最近、開発された各種水中ロボットにおいても、大深度での高精度作業は不可能である。
新技术適用に 当たっての 課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 数千mの水圧に耐える機構が必要である。</li> <li>② 泥水中でも自己位置、周辺地盤状況の計測が可能のこと。</li> <li>③ 動力及び制御用ケーブルが長くなるため、効率的な動力の補給方法や新たな制御方法が必要になる。</li> <li>④ 海底地盤被掘削強度増大に対応するため、掘削力の向上が必要であるが、反力増大的ため、ロボット化や作業中の位置固定が困難となる。従って、掘削反力の少ない、ウォータージェットやレーザー等のエネルギーームを用いた掘削工法の適用が必要である。</li> <li>⑤ 長期間にわたって海底下で作業させるために、装置の信頼性、耐久性向上の必要性は言うまでもなく、自己故障診断及び修復技術も採用されるべきである。</li> </ul>
今後の展望	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 上記水没自動掘削機は平成7年度に完成予定である。</li> <li>② 耐水圧技術は深海艇の技術を適用可能である。</li> <li>③ 自動化については、極限作業用ロボット技術の適用が可能である。</li> </ul>

表-35 代替処理処分に適用可能な技術の調査

(レーザーによるアクチニド分離)

分 野	群 分 離
適用技術	レーザーによるアクチニド分離
新技術の現状	<p>再処理プロセスへのレーザー分離技術の適用化研究は米国のオークリッジ国立研究所にて1960～1986年に実施された。対象はU、Pu、Npであり、各種液中の吸収スペクトルと反応量子収量等の研究がなされている。東大でも同様な研究がなされている。</p> <p>他方、近年我国においても原子法レーザーウラン濃縮法の研究が電力会社中心に、分子レーザーウラン濃縮法は動力炉・核燃料事業団等で工学規模試験が実施されるまでになっている。</p>
新技術の適用概念	群分離にレーザー分離を適用した研究事例はなく、群分離プロセス自体が基礎研究段階であり、湿式法（抽出とイオン交換が主体）、乾式法の研究が行なわれている。レーザーをアクチニド分離へ適用したのは再処理でのU、Pu及びNpの原子価調整においてであり、レーザーを適用したプロセス検討案は図-63の通りである。
従来技術と新技術との比較	<p>従来技術である抽出、イオン交換では薬品及び反応材が多いために発生する2次放射性廃棄物が多くなるが、レーザーで選択的励起及び分離が可能となれば2次放射性廃棄物が低減できる。</p> <p>また、化学的方法では分離しにくい元素に対し分離の可能性がある。</p>
新技術適用に当たっての課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 基礎データ整備（図-64参照）</li> <li>② 波長可変高出力レーザーの開発</li> <li>③ 液相プロセス及び気相プロセスの検討及び実証研究</li> </ul>
今後の展望	オメガ計画の一環として1991年から原研にて、①気相レーザー分離の研究、②液中原子価制御の研究が計画されており、基礎的研究が実施される。

表-36 代替処理処分に適用可能な技術の調査

(核破碎技術(陽子加速器))

分野	消滅処理
適用技術	核破碎技術(陽子加速器)
新技术の現状	<p>1988年に群分離・消滅処理技術開発長期計画の国レベルでの推進することが決定した。その中で陽子加速器によるTRU消滅処理は原研等で研究されることになり、現在、次のテーマについて研究中である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>① 核破碎過程シミュレーションコードの改良開発及び消滅処理プラント設計研究用コードシステムの開発</li> <li>② TRU消滅処理プラントの概念設計・設計研究</li> <li>③ 高エネルギー陽子核破碎積分実験</li> <li>④ 大強度陽子加速器の開発(目標1.5GeV, 300mA)、図-65,66参照</li> </ul>
新技术の適用概念	<p>数GeVの高エネルギー陽子ビームをTRUターゲットに入射せばやると、主として核破碎生成物を作るカスケード反応を起こす。例えば、使用済核燃料中に生成されるTRUの主成分である<math>^{237}\text{Np}</math>のターゲットを陽子ビームで照射する。生成核種のうち長寿命核種はトリチウム以外は僅かである。計算に基づき核破碎反応だけでTRUを消滅するシステムを検討すると1.5GeV、300mAの陽子加速器による核破碎で、年に約100kgのTRUが消滅処理でき、これは1GWeの軽水炉発電炉より排出されるTRUの約4基分に相当する。</p> <p>図-67に陽子加速器のTRU消滅への適用概念を示す。</p>
従来技術と新技术との比較	<p>世界で現在、稼動中又は計画中の大強度陽子加速器を図-68に示す。原研が考えている工学試験用大強度陽子加速器(ETA)は、陽子エネルギー及び電流値において世界最高のものである。陽子エネルギーレベルはアルゴンヌのASPUNで1.0GeVを超えているが、電流が<math>3 \sim 4 \times 10^3 \mu\text{A}</math>しかなく、消滅システムに適用させるには大きな技術的革新が必要である。</p>
新技术適用に当たっての課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 核データ整備</li> <li>② ターゲット中の核反応の評価法の確立</li> <li>③ 加速器のビーム強度の増加、連続化</li> <li>④ ターゲットの熱的実証試験・材料試験・ターゲットの製造法</li> <li>⑤ 消滅処理のエネルギー収支の評価・改善</li> </ul>
今後の展望	国レベルのR&Dとして2000年まで基礎的研究及び技術開発用加速器が建設され、工学試験が実施され、2000年にチェック&レビューが行なわれる。

表-37 代替処理処分に適用可能な技術の調査  
(ロケット技術の高度化)

分 野	宇宙処分技術
適用技術	ロケット技術の高度化 <sup>11)</sup>
新技術の現状	<p>1981年には、有人部分再使用型宇宙往還機スペースシャトルが初飛行し、さらに20年後の21世紀には、完全再使用型の宇宙航空機が飛行しようとしている。</p> <p>このうち各段階にある世界の部分再使用型宇宙往還機を図-69に示した。我が国でも、科学観測用のMロケット、実用衛星用のN-I、N-II、液酸液水エンジンを装備したH-Iから、現在H-IIロケットへ開発が進展してきた。H-IIロケット打上げ型有翼回収機HOPE (H-II Orbiting Plane) の計画も進行中で、その打上げ手順と帰還誘導着陸までの過程を図-70に示した。</p> <p>アメリカの航空研究開発目標は、極超音速機HST (Hypersonic Transport) と宇宙往還機TAV (Trans-atmospheric Vehicle) が重点で、図-71のようなNASP (National Aerospace Plane) の実験機X-30の計画が、発表された。</p>
新技術の適用概念	ロケット技術が高度化され安全性が向上されれば高レベル廃液から群分離したTRUを処分用カプセルに入れこの高度化されたロケットに搭載し、宇宙処分可能な空間、軌道へ放出する。
従来技術と新技術との比較	従来のロケット技術を高度化することにより信頼性が向上（打ち上げの失敗や爆発等の事故の減少）すれば、放射性廃棄物を宇宙へ処分することが可能となる。
新技術適用に当たっての課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>① 安全性、信頼性の確立</li> <li>② 新しい推進装置の開発</li> <li>③ 高温材料の開発</li> </ul>
今後の展望	ロケットは、将来宇宙往還機が中心になると思われるが、その技術的な成否となるのは推進装置の開発でありスクラムジェット等が検討されている。

表-38 代替処理処分に適用可能な技術の調査

(C E R M E T)

分 野	宇宙処分技術
適用技術	C E R M E T
新技術の現状	<p>宇宙処分システムとして、米国で宇宙処分する廃棄物の形状等について検討された。その結果、高レベル放射性廃棄物はC E R M E T（セラミック粒子を金属相に分散させたもの）として処分する方針が打ち出された。</p> <p>C E R M E T（鉄合金系）は、オークリッジ国立研究所で開発された固化体で、廃棄物含有率60%程度まですることが可能で、機械強度も大きいことから、宇宙処分は適した固化体といえる。（図-72参照）</p>
新技術の適用概念	<p>C E R M E Tは、宇宙への打ち上げに適したペイロード（弾頭）に加工する。C E R M E Tは、柱状片（直径約6cm×高さ約6cm）に加工後、ステンレススチールのサポートのなかに六角形の配列に積む。</p> <p>これらを厚さ224mmのInconel 625超合金の上下に二分割された球状コンテナーに収容し、継目を密封溶接する。さらに、その外側をグラファイト及び304ステンレス・スチールの二層タイルでシールドし、廃棄物ペイロードパッケージとする。</p> <p>廃棄物ペイロードの加工プロセスを図-73に、廃棄物ペイロードのパッケージを図-74に示す。</p>
従来技術と新技術との比較	従来技術がない。
新技術適用に当たっての課題	<p>① 酸化し、ぜい化する可能性あり。</p> <p>② 高温強度</p>
今後の展望	現在、一般に切削工具及び耐摩耗材としてタングステンカーディド系及びTiC系のC E R M E Tがあるが、上記の処分用とはまったく異なるため、産業のニーズからオークリッジ国立研究所が開発した以上のものが開発される可能性は少ない。

4. 処理処分システム・シナリオに対する高度基盤技術の適用インパクトの検討  
3.2, 3.3 の適用対象技術についての技術調査により得られた現状及び今後の展望等の結果に基づき、処理処分システム・シナリオに高度基盤技術を適用した場合のインパクトの検討を行い、今後の適用概念を検討する上で対象とすべき高度基盤技術を選択する。

#### 4.1 地層処分システム・シナリオへのインパクト

地層処分に対する適用対象技術と考えられた高度基盤技術を、現在考えられている地層処分概念に適用することにより、廃棄物管理シナリオ、安全性、処分システムの構成、処分実施の容易さ、経済性等にどの程度のインパクトを与えるかの検討を行った。

各々の適用対象技術について、以下の項目毎に影響の度合いを定性的に評価した。

##### ① 廃棄物管理シナリオ

廃棄物の処分に係る管理シナリオに関して、具体的な管理の考え方、処分実施のスケジュール・方法、サイトの選定、性能評価等にどのような変化をもたらすかを検討する。

##### ② 安全性

処分の安全性を評価するために考慮される項目として、バリアの評価及びシステムの評価について検討する。

##### ③ 処分システムの構成

現在考えられている多重バリアシステムに基づいた地層処分システムが、適用対象技術を用いることにより、どのように変化するかを検討する。

##### ④ 処分実施の容易さ

適用対象技術により地層処分の実施の可能性が向上するか否かを評価する。

##### ⑤ 経済性

適用対象技術を適用した場合、コストを低減できる可能性の有無につき検討する。

#### 4.1.1 適用対象技術の適用方法の検討

3.1で抽出を行った適用対象技術に関して、地層処分への適用方法について検討を行った結果を表-39に示す。

表-39 地層処分での適用対象技術の適用方法

適用対象技術	ニーズ	シナリオ上の適用箇所	具体的な適用方法・データの使用方法
高温超伝導体によるSQUID	人工衛星からの広域的な地質情報	サイト選定 (広域調査)	・岩体の厚さ調査 ・断層、貫入岩体の調査 ・資源が存在していないことの調査
レーザーファイ技術(比抵抗、電磁波、弾性波)	地質の三次元情報	サイト選定 (広域調査、精密調査)	・厚み、広さを持った岩体の選択 ・地層境界、断層等の地下情報の入手
中性子探査技術	非破壊の透水性試験方法	サイト選定 (精密調査、深地層での試験)	・地層の間隙率 ・水分含有量
核磁気共鳴探査技術	非破壊の透水性試験方法	サイト選定 (精密調査、深地層での試験)	・ボーリングコアの透水係数、間隙率の測定 ・原位置の非破壊の透水係数、間隙率の測定
超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術	材料の長期評価	解析・評価	・容積、構造物の超長期の健全性評価 ・設計及び安全評価へのデータの取得
フラクタル理論による地質の長期評価技術	三次元構造を表現可能なソフトウェア技術	解析・評価	・施設レイアウト設計へのデータの取得 ・岩盤の安定性評価
ボクセル構造による地質構造の表現	三次元構造を表現可能なソフトウェア技術	サイト選定 (広域調査、精密調査) 解析・調査	・3次元地質データの視覚化 ・岩盤の安定性評価のためのモデル化
レーザーによる掘削技術	クラックの発生が抑えられるボーリング技術	サイト選定 (精密調査、深地層での試験) 建設	・精密調査、原位置試験用ボーリング、坑道の掘削 ・地下坑道、立坑、処分孔等の掘削
バイオセンサー	環境変化を検出するセンサー	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・放射性物質、腐食生成物等の測定 ・地下水性状等の把握
イオンセンサー	環境変化を検出するセンサー	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・放射性物質、腐食生成物等の測定 ・地下水性状等の把握
光ファイバーセンサー	環境変化を検出するセンサー	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・温度、ひずみ、変位等の測定 ・成分組成、濃度等の測定 ・放射線量の測定
耐放射線光ファイバー	センサーからのデータ転送技術	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・温度、ひずみ、変位等の測定 ・成分組成、濃度等の測定 ・放射線量の測定 ・腐棄物自体のモニタリング ・測定データの伝送
ノードの耐環境性	耐環境性のセンサー技術	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・無交換モニタリング系の実現
センサーのネットワークとしてのロバストネス	耐環境性のセンサー技術	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・無交換モニタリング系の実現
スマートセンサー技術(故障自己診断機能等)	耐環境性のセンサー技術	サイト選定 (深地層での試験) モニタリング	・健全性チェック、校正が不要なモニタリング系の実現
超耐食性材料	耐食性鉄	サイト選定 設計 建設	・バリア構成の設定 ・腐棄物パッケージの材料
環境条件を環境条件維持作用をもつ鉄等の材料の腐食率により保持	耐環境性	サイト選定 建設	・バリア構成の設定 ・パッケージの健全性評価 ・設計及び安全性評価のデータ

#### 4.1.2 インパクト分析

地層処分に3.1.3でリストアップを行った適用対象技術を実際に適用した場合を想定し、そのインパクトについて分析を行った。各適用対象技術の地層処分への適用インパクトについて次の5項目について分析を行った。

- ① 廃棄物管理シナリオ
- ② 安全性の評価
- ③ 処分システムの構成
- ④ 処分実施の容易さ
- ⑤ 経済性へのインパクト

各々の評価項目毎にどのようなインパクトが想定されるかのインパクトの内容及びその影響の度合を4段階(◎, ○, △, ×)で評価している。4段階評価は、以下の基準に即して行った。

評価段階	評価基準
◎	影響の及ぶ範囲が全体的で、かつ影響度が大きい。
○	影響の及ぶ範囲は部分的であるが、その影響度自体は大きい。
△	影響の範囲は全体的又は部分的であるが、比較的影響度は小さい。
×	影響がまったくないか、もしくは極小さい。

#### 4.1.3 インパクトの整理

適用対象技術を地層処分へ適用した場合での廃棄物管理シナリオ、処分システムの構成等へのインパクトを表-41に示す。以下に、各々のインパクト検討項目毎に影響が大きいと考えられた項目を示す。

##### (1) 廃棄物管理シナリオ

- ① 超加速試験・ナチュラルアナログ技術
- ② 超耐食性材料
- ③ 環境条件を環境維持機能をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持

表-41 地層処分への適用対象技術の適用のインパクト

	廃棄物管理シナリオ	安全性の評価	処分システムの構成	処分実施の容易さ	経済性へのインパクト
高温超伝導体によるS QUID	処分予定地選定の容易化 △	評価・解析の容易化 △	インパクトなし ×	サイト選定の広域調査 の容易化 △	調査費用の削減 △
ジオトモグラフィー技術	処分予定地選定の容易化 及び施設設計・施工の容易化 ○	評価データの増加 ○	インパクトなし ×	安全評価の確実度の向上 及び調査時の地質への影響の低減 ○	処分予定地の選定での向上が大きい。処分施設開発での向上が期待できる。 ○
中性子探査技術	重要ポイント計測の精密化 △	重要ポイント計測の精密化 △	インパクトなし ×	インパクトなし ×	インパクトなし ×
核磁気共鳴探査技術	重要ポイント計測の精密化 △	重要ポイント計測の精密化 △	インパクトなし ×	インパクトなし ×	インパクトなし ×
超加速試験・ナチュラルアナログ技術	超長期管理が不要となるシナリオの確立 ●	容器等の超長期評価が可能 ●	設計的確化 ○	安全性論証の容易化 ○	インパクトなし ×
フラクタル理論による地質の長期評価技術	長期安定性の確認の取得 ○	地層の長期予測が可能 ●	インパクトなし ×	安全性論証の容易化 ●	観測・計測の簡素化 △
ボクセル構造による地質構造表現	地質状況の表現の容易化 △	三次元的表現及び視覚化が可能 ○	インパクトなし ×	三次元的表現及び視覚化が可能 ○	インパクトなし ×
レーザーによる掘削技術	インパクトなし。 ×	地下水及び核種移行量の低減化 ●	インパクトなし ×	安全性の向上 ○	インパクトなし ×
バイオセンサー	インパクトなし ×	インパクトなし ×	モニタリングの拡大 △	インパクトなし ×	インパクトなし ×
イオンセンサー	インパクトなし ×	化学的な計測が可能 ×	モニタリングの拡大 △	インパクトなし ×	インパクトなし ×
光ファイバーセンサー	モニタリングの容易化及び高信頼化 ○	不確実性の低減 ○	高機能センサーシステムの構築 ○	モニタリングの容易化及び高信頼化 ●	モニタリングシステムの簡素化 ●
耐放射線光ファイバー	データ転送方法での耐久性向上 △	データの信頼性の向上 ○	インパクトなし ×	モニタリングの信頼性の向上 ○	モニタリングシステムの耐久性向上 ○
ノードの耐環境性	データ転送方法での耐久性向上 △	データの信頼性の向上 ○	インパクトなし ×	モニタリングの信頼性の向上 ○	モニタリングシステムの耐久性向上 ○
センサーのネットワークとしてのロバストネ	データ転送方法での耐久性向上 △	データの信頼性の向上 ○	インパクトなし ×	モニタリングの信頼性の向上 ○	モニタリングシステムの耐久性向上 ○
スマートセンサー技術	モニタリングの高信頼化 ○	不確実性の低減及びデータの信頼性の向上 ○	インパクトなし ×	モニタリングの信頼性の向上 ○	インパクトなし ×
超耐食性材料	サイト選定要件の緩和、設計の簡素化、管理の軽減及び閉鎖方法の簡素化 ●	機量当量の低減及び不確実性の低減 ●	バリアの構成要素の変化 ●	信頼性及び安全性の向上 ●	インパクトなし ×
環境条件を環境維持機能をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持	バリア機能の強化	バリア性能の強化 ○	バリア構成の変化 ●	安全性の向上 ○	インパクトなし ×

(2) 安全性の評価

- ① 超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術
- ② フラクタル理論による地質の長期評価技術
- ③ レーザーによる掘削技術
- ④ 超耐食性材料

(3) 処分システムの構成

- ① 超耐食性材料
- ② 環境条件を環境維持機能をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持

(4) 処分実施の容易さ

- ① フラクタル理論による地質の長期評価技術
- ② 光ファイバーセンサー
- ③ 超耐食性材料

(5) 経済性へのインパクト

- ① ジオトモグラフィー技術
- ② 光ファイバーセンサー

(6) まとめ

以上の5項目についての適用インパクトの結果からは、材料に関する試験・評価に関連した技術として、超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術が、材料それ自体とて耐食性材料等がインパクトの大きいものとして挙げられる。

また、地質についての長期評価のためのフラクタル理論に関しても安全性等の観点からはウェイトが大きいものとなった。

モニタリングに関して、光ファイバーセンサーは処分の実施上での容易化に寄与するものとして挙げられる。

いずれの技術も、高レベル放射性廃棄物の含有核種が長寿命のものが多いことから長期にわたる評価可能性、性能維持及び機能維持を要求しており、この点を見据えたブレークスルーを見出すことが重要なものと考えられる。

#### 4.2 代替処理処分システム・シナリオへのインパクト

代替処理処分に適用対象技術を適用したことにより、代替処理処分の実現性、廃棄物管理シナリオ、安全性、経済性等にどの程度のインパクトを与えるかの検討を行った。

各々の適用対象技術について、以下の項目毎に影響の度合を定性的に評価する。

① 代替処理処分の実現性

適用対象技術が実現されることにより、代替処理処分のネックとなっていた事項が解決されるなど、その実現性についてどの程度変化を与えるか検討する。

② 廃棄物管理シナリオ

代替処理処分を現在の地層処分に代わる処理処分方法として採用した場合、従来の廃棄物管理シナリオにどのような変化を与えるかを評価する。

③ 安全性の評価

適用対象技術が適用されることにより、代替処理処分の安全性がどの程度向上するかを検討する。

④ システムの構成

適用対象技術を適用した場合、従来考えられていた代替処理処分を構成していたシステムにどのような変化を与えるか評価する。

⑤ 経済性へのインパクト

適用対象技術により代替処理処分の経済性が向上する可能性の有無を検討する。

#### 4.2.1 適用対象技術の適用方法の検討

3.1で抽出を行った適用対象技術の代替処理処分への適用方法について検討を行った。

適用方法の検討結果を表-42に示す。

表-42 代替処理処分での適用対象技術の適用方法

	適用対象技術	ニーズ	シナリオ上の適用箇所	具体的な適用方法・データの使用方法
超深孔処分	大口径超深部掘削技術	掘削技術	建設	・直徑約50m、深さ約10,000mの立坑掘削
	耐熱性（200～300度）、耐圧のセンサー	耐環境性のセンサー技術	モニタリング	・掘削時の亀裂、ゆるみ等の把握 ・パッケージ、スペーサのモニタリング
	環境条件を環境条件維持作用をもつ鉄等の材料の腐食厚により保持	耐化学環境、構造強度	サイト選定 調査・解析 建設	・バリア構成の設定 ・パッケージの健全性評価 ・設計及び安全性評価のデータ
	超耐食性材料	耐環境性	サイト選定 設計 建設	・バリア構成の設定 ・廃棄物パッケージ、ケーシング材料
岩石溶融処分	耐熱性（200～300度）、耐圧のセンサー	耐環境性のセンサー技術	モニタリング	・岩石の溶融状態モニタリング ・地質の亀裂の発生モニタリング ・クラック発生のモニタリング
島内処分	ジットモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)	地質の三次元情報	サイト選定 (広域調査、精密調査) モニタリング	・地下水理、構造の調査 ・地下水理の変化のモニタリング
水床処分	ジットモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)	地質の三次元情報	サイト選定 (広域調査、精密調査) モニタリング	・水床の構造、安定性、移動性の調査 ・降下中キャニスターの状態把握
井戸注入処分	ジットモグラフィー技術(比抵抗、電磁波、弾性波)	地質の三次元情報	サイト選定 (広域調査、精密調査)	・概念に適した地層の選択
海洋底処分	海底作業用の掘削技術	海底での作業機械	建設	・海底ボーリング孔の掘削
群分離	レーザーによるアクチニド分離	高効率の分離技術	核種分離	・レーザー分離 ・原子炉調整
消滅処理	反応核変換技術（電子加速器）、核破砕技術（陽子加速器）	高効率の消滅処理	消滅	・アクチニド、FPの核変換 ・アクチニド、FPの核破砕
宇宙処分	CERMET	耐熱、耐衝撃、軽量	運転（廃棄物処理固化）	・Tc、I、アクチニド等の固化
	ロケット技術の高度化	安全性の向上	運転（打上げ）	・安全性の高い打上げ
	EMMD	安全性の向上	運転（打上げ）	・安全性の高い打上げ

#### 4.2.2 インパクト分析

代替処理処分に3.1.3でリストアップを行った適用対象技術を適用した場合のインパクト分析を行う。各適用対象技術の代替処理処分への適用インパクトについて、下記の5項目について分析を行う。

- ① 代替処理処分の実現性
- ② 廃棄物管理シナリオ
- ③ 安全性の評価
- ④ システムの構成
- ⑤ 経済性へのインパクト

各々の評価項目毎にどのようなインパクトが想定されるかのインパクトの内容及びその影響の度合いを4段階（○，○，△，×）で評価した。評価基準は、4.1.2の地層処分の場合と同様とした。

#### 4.2.3 インパクトの整理

適用対象技術を代替処分に適用した場合のインパクトを整理し表-44に示す。

代替処理処分の適用対象技術は、以下の2つの性格を持ったものとなっている。

- ・代替処理処分の実現のクリティカルな技術としての適用対象技術
- ・クリティカルな技術というよりもむしろ安全・確実な実施に向けての適用対象技術

前者の例としては、超深孔処分の大口径超深部掘削技術、群分離のレーザー分離等があるのみで、他のものはほとんどが後者に属するものと考えられる。

また、島内処分の場合のように、ほとんどの基本的な技術が地層処分と共通性を持った概念は、上記技術を適用するのみですべての項目に大きく影響するものと評価されている。

表-44 代替処理処分への適用対象技術の適用のインパクト

		処理処分の実現性	廃棄物管理シナリオ	安全性の評価	システムの構成	経済性へのインパクト
超深孔処分	大口径超深孔掘削技術	クリティカル技術の克服 ○	サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 ○	インパクトなし ×	インパクトなし ×	インパクトなし ×
	耐熱性、耐圧性のセンター	安全性・確実性の高い処分の実現 ○	サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 ○	評価の不確実性の低減及び評価データの増加 △	モニタリング機能の強化 △	インパクトなし ×
	環境条件を環境維持作用をもつ鉱等の材料により保持	安全性の高い処分の実現 ○	サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 ○	バリア性能の強化 ○	インパクトなし ×	インパクトなし ×
	超耐食性材料	安全性の高い処分の実現 ○	サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 ○	線量等量の低減及び不確実性の低減 ○	バリア構成の変化 △	概念の簡素化 △
岩石溶融処分	耐熱性、耐圧性のセンター	安全性・確実性の高い処分の実現 ○	固化処理の不要化、サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 △	評価データの増加 ○	インパクトなし ×	インパクトなし ×
島内処分	ジオトモグラフィー技術	水理状況の的確な把握及び調査時の地質への影響の低減 ○	サイト選定域・基礎の変更及び施設計画の変更 ○	評価データの増加 ○	インパクトなし ×	調査の簡素化 ○
水床処分	ジオトモグラフィー技術	インパクトなし ×	サイト選定基準の変更、調査項目・方法の変更、施設計画の変更 ○	評価データの増加 △	インパクトなし ×	調査の簡素化 ○
井戸注入処分	ジオトモグラフィー技術	地下構造・水理状況の的確な把握及び調査時の地質への影響の低減 ○	固化処理の不要化、サイト選定基準の変更及び施設計画の変更 △	評価データの増加・詳細化 ○	インパクトなし ×	調査の簡素化 ○
海床底下処分	海底作業用の掘削技術	施工精度・施工管理の容易化 △	サイト選定域・基礎の変更及び施設計画の変更 ○	インパクトなし ×	インパクトなし ×	インパクトなし ×
群分離	レーザーによるアクチニド分離	効率性の向上、廃棄物量の低減及び含有濃度の低減 ○	ガラス固化体の発生量低減及び有用元素の利用 ○	廃棄物含有核種濃度の低減 ○	プロセスの変更 △	廃棄物発生量の低減 ○
消滅処理	反応核変換技術、核破砕技術	完全な消滅の実現 ○	長寿命核種管理シナリオの変化 ○	核種の非放射活性化・短寿命化及びアクチノイドの高次化の抑制 ○	ターゲット加工及び専用消滅施設が必要 △	インパクトなし ×
宇宙処分	CERMET	廃棄物特性の向上 △	廃棄物量の低減が必要及び長寿命核種管理シナリオの変化 ○	インパクトなし ×	インパクトなし ×	インパクトなし ×
	ロケット技術の高度化	打上げの安全性の向上 ○	廃棄物量の低減が必要及び長寿命核種管理シナリオの変化 ○	打上げの信頼性の向上 △	インパクトなし ×	インパクトなし ×
	EMMD	打上げの安全性の向上 ○	廃棄物量の低減が必要及び長寿命核種管理シナリオの変化 ○	打上げの信頼性の向上 △	打上げ装置の地上設置及び打上げ対象物の燃料等の不保持 ○	打上げ装置の反復利用及び再使用化 ○

#### 4.3 適用概念の検討で対象とする高度基盤技術の選定

高度基盤技術を組込んだ地層処分、並びに代替処理処分の概念構築に資するため、4.の適用インパクトの結果、さらには研究開発レベル、産業界への波及効果等を踏まえ、適用対象技術の第二次スクリーニングを行う。

##### 4.3.1 研究開発レベルの整理

3.で抽出した適用対象技術の研究開発状況を以下に示すようにレベル分けして整理した。

基礎研究開発段階：実用となるものが開発されておらず、基礎的な研究が進められている段階

応用研究開発段階：実用となるものは開発されているが、実際の普及において適用目的に対して性能上の問題もしくは経済性上の問題があり、技術開発が進められている段階

基礎研究／応用技術開発段階混在：対象とする技術によっては基礎研究段階と応用技術開発段階が混在している段階

整理結果を表-45に示す。

##### 4.3.2 対象技術の産業界への波及効果分析

3.で抽出した適用対象技術の産業への影響を以下に示すようにレベル分けして整理した。

単体では影響はほとんどない：対象技術が処分技術への特殊な要求に対応するような場合であり、この技術開発自体が産業にほとんど影響を与えないレベル

単体では影響は限定的：対象技術が処分技術への要求に対応するといった性格を持つが、この技術自体に幾分か汎用性があり限定的ではあるが産業界に影響を与えるレベル

現在すでに影響が現れている：処分技術に適応する技術開発の方向と処分以外の分野における技術開発の方向が一致しており、すでに産業への影響が出ているレベル

表-45 研究開発レベルの整理

影響は大きい：技術の汎用性が高く、処分技術開発と産業への応用技術開発の方向が一致し、しかも産業への影響が大きいレベル

影響は極めて大きい：技術の汎用性が高く、処分技術開発と産業への応用技術開発の方向が一致し、しかも産業への影響が極めて大きいレベル

整理結果を表-46に示す。

#### 4.3.3 第2次スクリーニング基準の作成

今後の研究開発対象として選択する基準を考える場合には以下のような視点が必要となるものと考え、これらの3点が高いレベルにあるものを選択することを第2次スクリーニングの基準とした。

- ① 処分技術へのインパクトが極めて大きい
- ② 研究開発段階は基礎的に過ぎず、かつ汎用技術自身の技術開発が必要なレベルにある
- ③ 産業界への影響が大きいこと

評価方法としては、レーダーチャートによる面積比較を採用することとした。

処分技術へのインパクトについては、4.1.3で整理した廃棄物管理シナリオ、安全評価、処分システムの構成、処分実施の容易さ及び経済性へのインパクトとして◎、○、△、×の4段階の評価結果をそのまま用いた。研究開発段階については、4.3.1での研究開発レベルで、応用研究開発が進んでいるものを一番高い順位にあるものとし、基礎研究開発段階までの3段階で評価した。また、産業界への影響については、影響の大きい順に5段階で評価しており、この結果を用いる。

以上の手法により作成したチャートを図-75、76に示す。このレーダーチャートでの線で囲まれた内側部分の面積の広さにより決定したインパクトの順位を表-47、48に示す。

地層処分については、表に示された順位がそのままインパクトの大きい順位として今後の研究開発の重要性につながるものと考えられる。

一方、代替処理処分については、種々の処理処分概念に対応したものとなっており、順位自体の意味付けはそれほど大きいものではない。

以上のことから、第2次スクリーニングの基準として、地層処分については最大面積（すべての評価点が最高位にあるときに線で囲まれた面積）の $\frac{1}{2}$ 以上となったすべての

技術を選択することを基本とした。代替処理処分については、概念に対して単独で選ばれているものはその技術を選択し、複数が選ばれているときは最大面積の $\frac{1}{2}$ 以上となつた技術を選択するものとした。

表-46 産業へのインパクトの整理

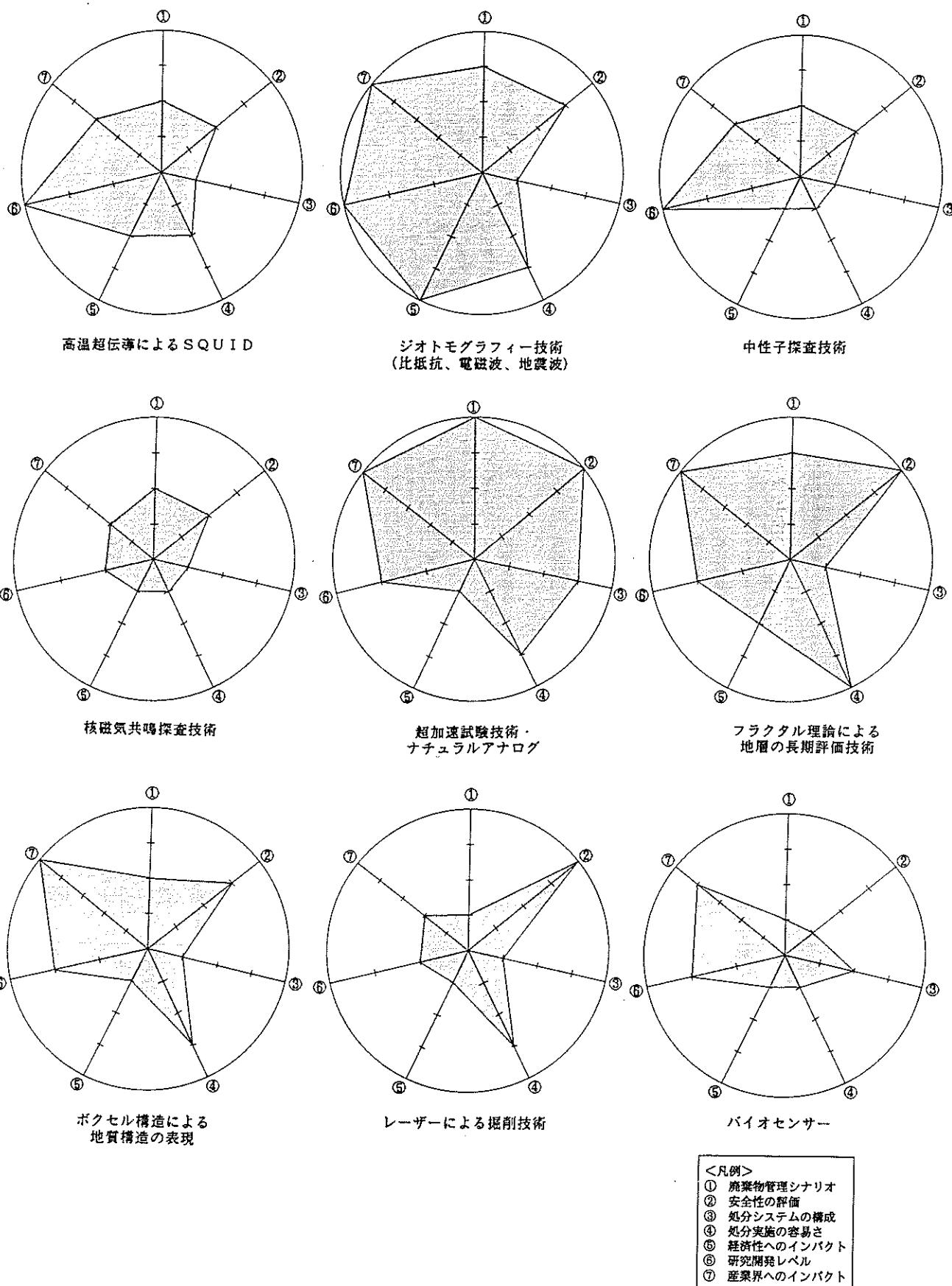


図-75 地層処分への適用対象技術の適用インパクトの整理（1／2）

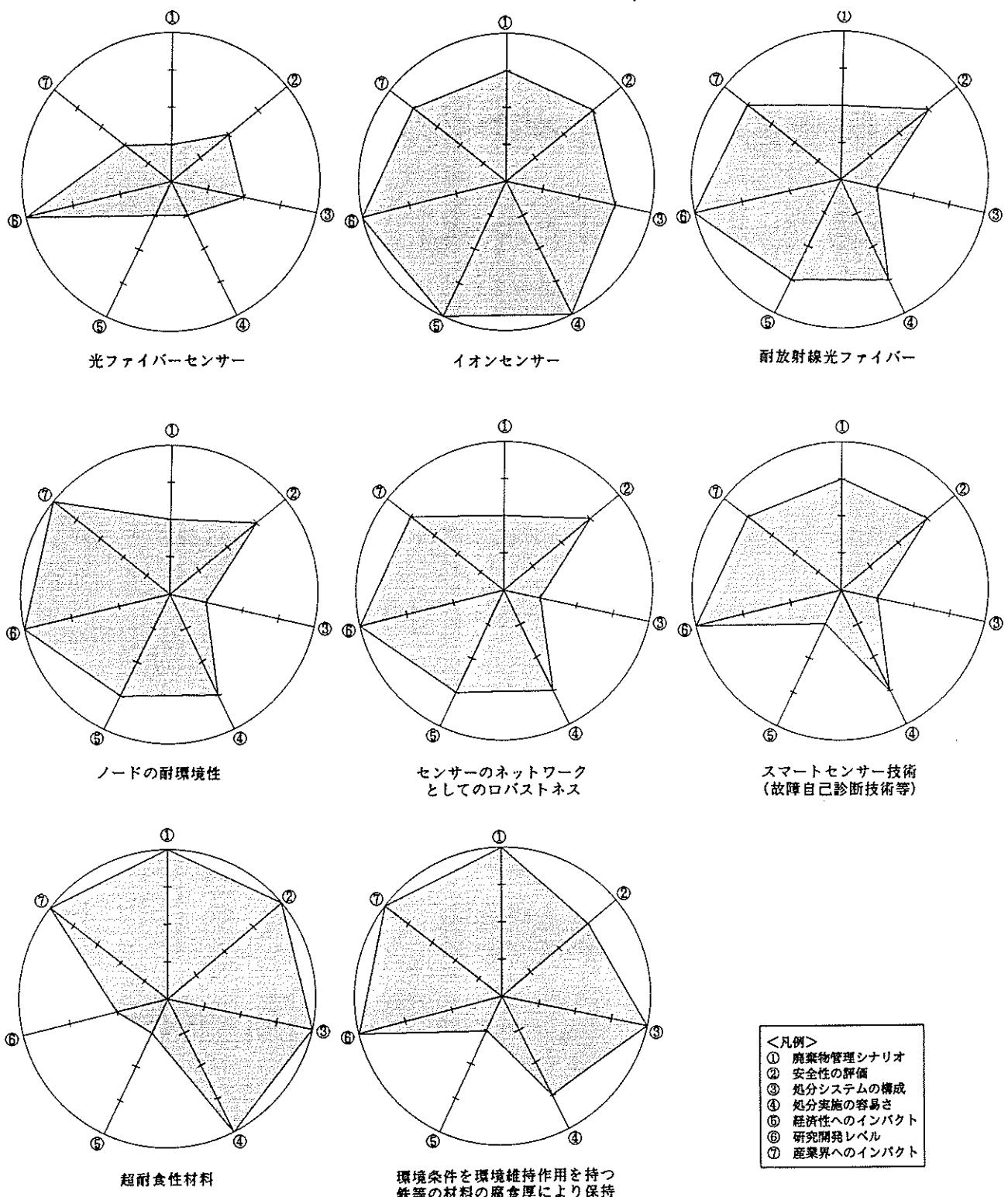


図-76 地層処分への適用対象技術の適用インパクトの整理（2／2）

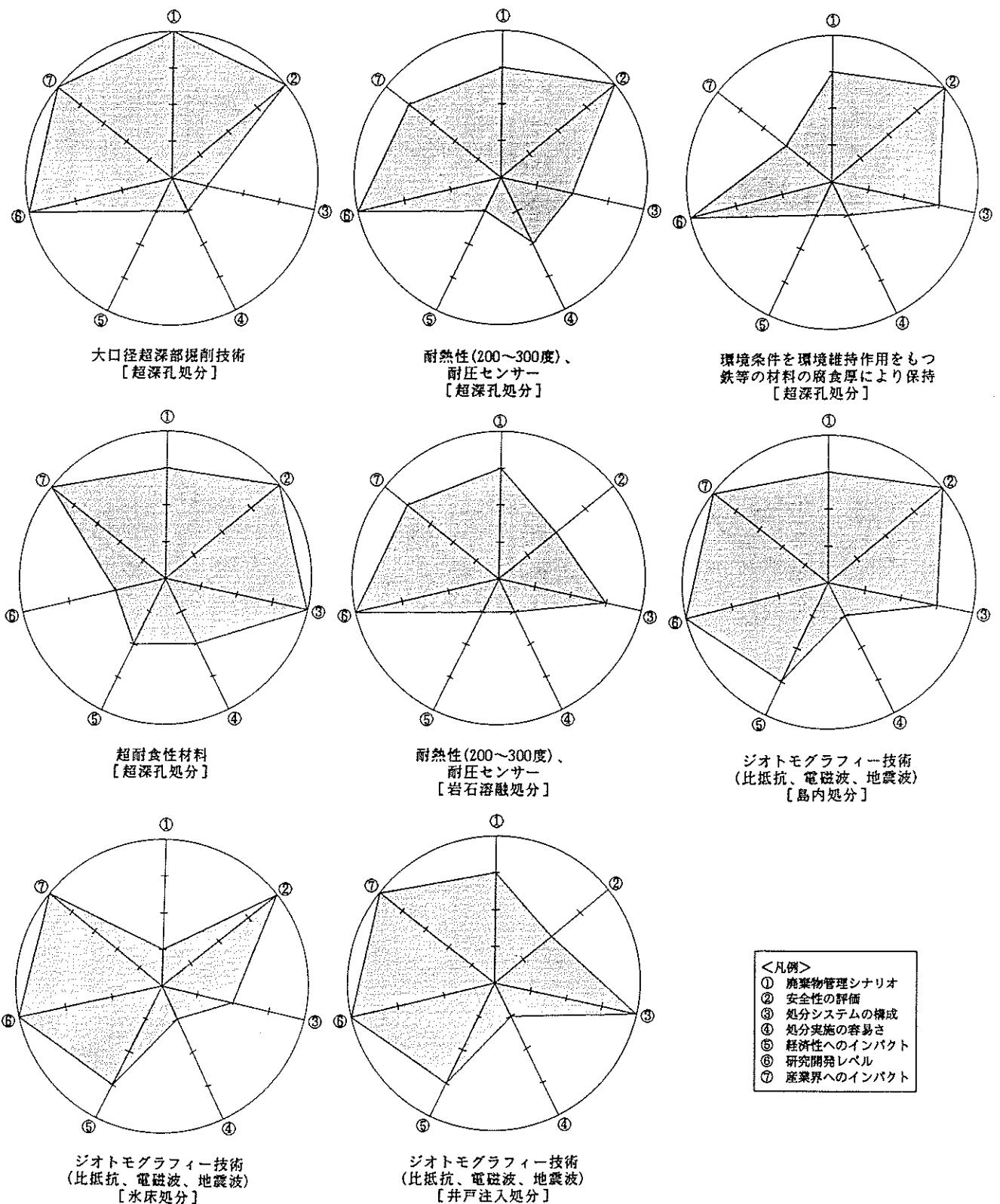
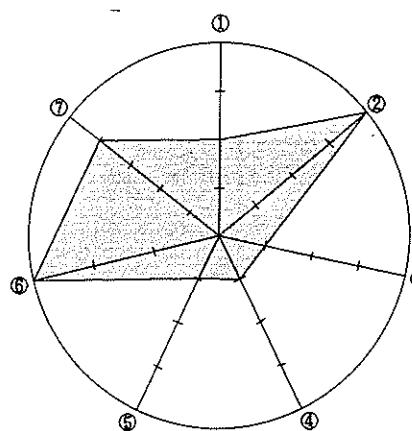
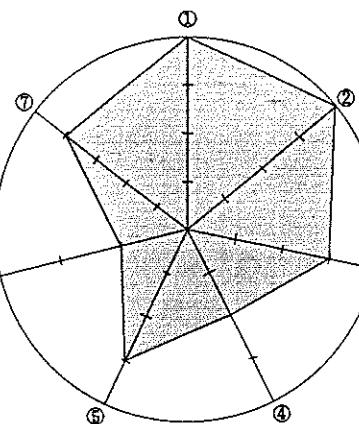


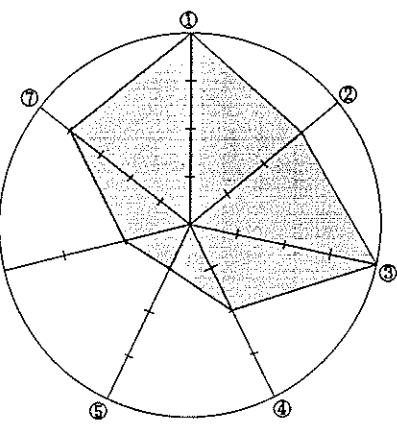
図-76 代替処理処分への適用対象技術の適用インパクトの整理（1／2）



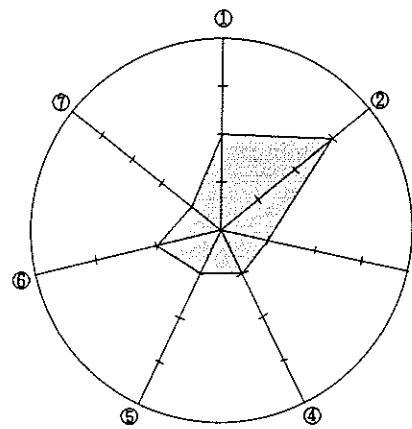
海底作業用の掘削技術  
【海洋底下処分】



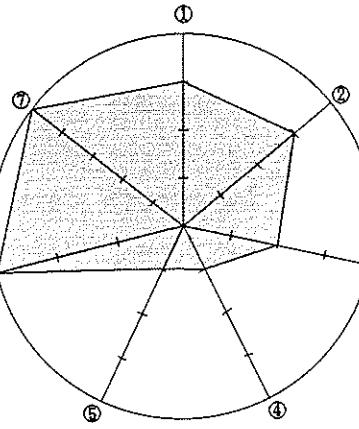
レーザーによるアクチニド分離  
【群分離】



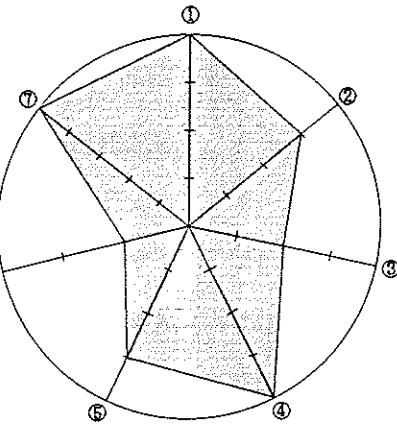
反応核変換技術(電子加速器)、  
核破砕技術(陽子加速器)  
【消滅処理】



(CERMET)  
【宇宙処分】



ロケット技術の高度化  
【宇宙処分】



EMMO  
【宇宙処分】

<凡例>	
①	廃棄物管理シナリオ
②	安全性の評価
③	処分システムの構成
④	処分実施の容易さ
⑤	経済性へのインパクト
⑥	研究開発レベル
⑦	産業界へのインパクト

図-76 代替処理処分への適用対象技術の適用インパクトの整理 (2 / 2)

表-47 地層処分への適用対象技術の適用のインパクトの順位

---

順位 適用対象技術

---

- 1 光ファイバーセンサー
  - 2 環境条件を環境維持作用を持つ鉄等の材料の腐食厚により保持
  - 3 超耐食性材料
  - 4 ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、弾性波）
  - 5 超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術
  - 6 ノードの耐環境性
  - 7 フラクタル理論による地質の長期評価技術
  

---

  - 8 耐放射線光ファイバー
  - 9 センサーのネットワークとしてのロバストネス
  - 10 スマートセンサー技術
  - 11 ボクセル構造による地質構造の表現
  - 12 高温超伝導体による S Q U I D
  - 13 中性子探査技術
  - 14 イオンセンサー
  - 15 バイオセンサー
  - 16 レーザーによる掘削技術
  - 17 核磁気共鳴探査技術
-

表-48 代替処理処分への適用対象技術の適用のインパクトの順位

順位	適用対象技術
1	ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、弾性波）【島内処分】
2	EMMD【宇宙処分】
3	レーザーによるアクチニド分離【群分離】
4	ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、弾性波）【井戸注入処分】
5	超耐食性材料【超深孔処分】
6	大口径超深部掘削技術【超深孔処分】
7	耐熱性(200~300度)、耐圧性センサー【超深孔処分】
8	反応核変換技術（電子加速器）、核破碎技術（陽子加速器）【消滅処理】
9	ロケット技術の高度化【宇宙処分】
10	ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、弾性波）【氷床処分】
11	環境条件を環境維持作用を持つ鉄等の材料の腐食厚により保持【超深孔処分】
12	耐熱性(200~300度)、耐圧性センサー【岩石溶融処分】
13	海底作業用の掘削技術【海洋底下処分】
14	CERMET【宇宙処分】

#### 4.3.4 適用対象基準のリストアップ及び今後の検討の方向性

4.3.3で設定した基準により選択された適用対象技術は、以下のとおりである。

##### ① 地層処分

- ・光ファイバーセンサー
- ・環境条件を環境維持作用をもつ鉄等の材料の腐食により維持
- ・超耐食性材料
- ・ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、地震波）
- ・超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術
- ・ノードの耐放射線性
- ・フラクタル理論による地質の長期評価技術

##### ② 代替処理処分

- (a) 超深孔処分
  - ・大口径超深部掘削技術
- (b) 岩石溶融処分
  - ・耐熱性（200～300度）、耐圧センサー
- (c) 島内処分
  - ・ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、地震波）
- (d) 水床処分
  - ・ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、地震波）
- (e) 井戸注入処分
  - ・ジオトモグラフィー技術（比抵抗、電磁波、地震波）
- (f) 海洋底下処分
  - ・海底作業用の掘削技術
- (g) 群分離
  - ・レーザーによるアクチニド分離
- (h) 消滅処理
  - ・反応核変換技術（電子加速器）、核破碎技術（陽子加速器）
- (i) 宇宙処分
  - ・ロケットの高度化
  - ・EMMD

以上の技術について、来年度は実際に適用する概念を検討することを考えている。

今回の第2次スクリーニングで抽出された技術は、調査・解析に関するものとしてジオトモグラフィー技術、超加速試験技術・ナチュラルアナログ技術、フラクタル理論による地質の長期評価技術等であり、これらは一様に調査・解析技術の開発が重要であることをその数の多さからも推察され、なおかつ長期的な評価を要求している。

また、処分の実施にあたって、容器及び構造物の健全性の確認・モニタリングのための光ファイバーセンサー、耐放射線光ファイバー等が抽出されており、モニタリングを含めた地層処分での管理の考え方が重要な課題となってくることを示しているものと考えられる。

さらに、地層処分施設が置かれる環境を積極的に改善するものとして、環境維持作用を持った材料の利用が抽出されており、この点も重要な課題と成って行くものと考え得る。

一方、代替処理処分については、実現性のクリティカルとなっているところが純技術的なものか、その他の要因によるものかを整理した上で適用概念の検討方法を決定していくことを考えている。

## 5. 技術開発進展予測手法について

4. 3で第2次スクリーニングを行った適用対象技術が、今後の研究開発によりどの程度技術的な進展が見込めるかを予測するために、技術開発進展予測を実施する。実施にあたっては、まず研究開発進展に関する既存の予測研究例の調査を実施した。

また、予測例が見られない分野については、予測対象毎に適用すべき予測手法について検討するとともに、モデルの作成、データの収集を行うための検討を実施した。

### 5.1 既存の予測方法の調査

今までに行われた下記の技術進展予測研究例について、手法の概略的な内容、予測対象としている技術分野、手法適用の時間的・技術的な制限・制約等を調査した。

- ① デルファイ法
- ② 関連樹木法
- ③ 先行指標法
- ④ パテントマップ

### 5.2 予測手法に関する検討

既存の予測手法としてデルファイ法／関連樹木法／先行指標法／パテントマップについて調査を実施した。これらの手法にはそれぞれ一長一短があり、どれかの手法だけで技術予測を実施することは難しい。特に本研究で必要とされる技術予測は以下ののような性格を持つことが必要であることから、何らかの手法を組み合わせて、独自の手法開発を行う必要があるものと考えられる。

- ① 対象とする技術が廃棄物処分という特殊な対象に関連するものであること
- ② 処分のプロセスを革新する技術を見出す必要があること
- ③ 社会へのインパクトに関する把握が必要があること

特に①の面からは、汎用技術の応用により実現できるもののみを追っていくだけでは不足である点が、また、②の面からは発見的なアプローチが必要となる点で難しさがあるものと言える。また、③の面では特殊な技術が社会に及ぼす影響を見出す必要があり、従来の未来予測技術を越える難しさがある。

こういう点をカバーするために、関連樹木法による発見的な技術予測をベースに汎用技

術に関してはデルファイ法および先行指標法を利用した技術開発進展度予測を行う技術予測手法の開発が有効であろうと考えられる。

## あとがき

本年度は、高レベル放射性廃棄物処理処分に対する高度基盤技術の適用性を検討する2年目として、昨年度に引き続いて対象となり得る高度基盤技術の現状について調査を行った。調査対象とした将来技術は、シミュレーション、AI技術及び新分離技術である。これら技術について、現状での研究動向、具体的な適用例、並びに今後必要となる研究開発事項についてまとめている。

また、昨年度摘出した地層処分及び代替処理処分に対する重要要素技術から、各種の処理処分概念への適用が考えられる適用対象技術を選定するために、重要要素技術に関して重要度、要求性能等を基準としてスクリーニングを行った。

さらに、スクリーニングにより選択した重要要素技術毎に具体的な適用対象技術を選定した。

上記で選択した適用対象技術に関して、技術の適用箇所、要求性能等を考慮した上で、現状の技術レベル、開発進展の程度等について調査を行い、課題及び今後の展望についてまとめている。

適用対象技術を各種の処理処分に適用した場合の処理処分システム・シナリオに与えるインパクトを検討し、この結果と研究開発レベル及び産業界への波及効果とを加えて、適用対象技術の第2次のスクリーニングを実施した。

また、高度基盤技術の将来の開発進展予測を行うため、本年度は既存の技術開発進展予測方法の調査を実施し、適用が考えられる手法としてデルファイ法、関連樹木法、先行指標法等について、概念、特徴及び問題点についてまとめている。

来年度は、上記で選定した適用対象技術を地層処分及び代替処理処分に適用した概念を検討し、適用効果を検討する。また、適用対象技術の技術開発進展予測を行う計画である。

## 謝　　辞

本調査研究は、(株)野村総合研究所殿、並びに三菱重工業(株)殿のご協力により、遂行することができました。ここに、あらためて御礼申し上げます。

また、本調査研究の進め方、成果のまとめ方に貴重な御助言、ご指導を戴いた、動力炉核燃料開発事業団環境技術推進本部処分研究グループ 大沢正秀副主幹、並びに棚井憲治殿に感謝の意を表します。