

平成26年度

文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業  
廃止措置等基盤研究・人材育成プログラム委託費

汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成プログラム

成果報告書

平成27年3月  
公益社団法人 地盤工学会

本報告書は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、公益社団法人 地盤工学会が実施した平成26年度「汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成プログラム（契約書第1条で定めた委託業務題目）」の成果を取りまとめたものです。

## 目次

概略	iii
1. はじめに	1.1
2. 業務計画	
2.1 全体計画	2.1
2.2 平成26年度の成果の目標及び業務の実施方法	2.1
3. 平成26年度の実施内容及び成果	
3.1 個別基盤研究のための研究体制づくりとフェージビリティ研究	3.1.1
3.2 各種地盤遮水材料の放射性遮へい性能調査（再委託先：早稲田大学）	3.2.1
3.3 地盤工学の英知を結集した「福島第一原子力発電所廃止措置技術」教育プログラムの試作	3.3.1
4. 結言	4.1

## 表一覧

表 3-1	地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」メンバー	3.1-1
表 3-2	表 3-1 に加わる研究コアメンバー	3.1-2
表 3-3	建設会社や地質・地下水調査コンサルタント他の技術者の参画状況	3.1-2
表 3-4	実施項目と実施概要設	3.1-5
表 3-5	概略スケジュール	3.1-7
表 3-6	使用した重泥水の諸元	3.2-1
表 3-7	使用した土質系材料と目標含水比	3.2-2
表 3-8	重泥水および水道水の放射線透過線量計測値	3.2-4
表 3-9	今回取得した土質系材料の放射線遮蔽実験のデータ	3.2-7
表 3-10	廃止措置へのプロセスで廃炉地盤工学が貢献できる技術	3.3-3

## 図一覧

図 1-1	福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置における地盤工学分野の個別基盤研究のイメージ	1.2
図 3-1	地盤・地下水環境管理における地盤工学的技術	3.1-4
図 3-2	シールドトンネルを主体にした技術	3.1-8
図 3-3	重泥水などのデブリ取出し補助技術	3.1-9
図 3-4	瓦礫類の覆土式一時保管施設	3.1-10
図 3-5	伐採木一時保管槽	3.1-11
図 3-6	燃料デブリが極微量残された場合の貯蔵に関する代替工法の一案	3.1-12
図 3-7	放射線遮蔽実験の様子（上：ガンマ線の遮蔽実験、下：中性子線の遮蔽実験）	3.2-3
図 3-8	ガンマ線透過線量と重泥水の比重の関係	3.2-4
図 3-9	中性子線透過線量と重泥水の比重の関係	3.2-5
図 3-10	各放射線低減率と重泥水の比重の関係	3.2-5
図 3-11	放射線遮蔽機能を有する重泥水の利用イメージ	3.2-6
図 3-12	各種土質材料のガンマ線透過線量と湿潤密度の関係	3.2-7
図 3-13	インターンシップ制度を活用した分野間交流の構想	3.3-4

## 略語一覧

HLW: High-level Radioactive waste (高レベル放射性廃棄物)

TBM: Tunnel Boring Machine (トンネル・ボーリング・マシン)

TRU: Trans Uranium (超ウラン元素)

LLW: Low-level Radioactive waste (低レベル放射性廃棄物)

## 概略

地盤工学は、地下水流動予測や凍土壁、薬液注入、粘土系遮水技術、地下水くみ上げ等の技術を通じて被災した福島第一原子力発電所構内において発生している汚染水の対策に寄与しているのみならず、廃止措置に至る今後の過程でも地下掘削技術や放射性廃棄物処分技術で重要な役割を果たすことができる。一方、地盤工学・土木工学の専門家・技術者の多くは、一般公共事業への寄与を主な目的として技術開発を行っており、必ずしも原子力工学分野に詳しくないのも事実である。すなわち、地盤工学・土木工学の専門家・技術者の多くは、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置に貢献できる基本的技術を保有しているにもかかわらず、原子力工学分野の求めている事項を認識していないが故に、直接的な寄与ができていないのが実情と考えられる。

また、多くの土木工学系学科においては、一般公共事業への寄与を念頭に置いた技術者教育が展開されている。今後 40 年にもわたる福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置までの工事に寄与できる人材を育成するためには、従来型の地盤工学・土木技術者教育に加えて、原子力工学分野の知見・教育事項を取り入れた新しいカリキュラムの構築と実践が必要不可欠である。具体的には、20 世紀に地盤工学・土木工学が大いに貢献してきた原子力発電所建設技術に加え、原子力発電所の立地・建設から放射性廃棄物処分、廃止措置までを一貫して担うことのできる教育プログラムを構築することが必要である。これにより、汚染水対策・燃料デブリ取出しから廃止措置までを土木工学・地盤工学の観点から貢献する技術産業を創出し、若者が将来の職業として魅力を感じる産業の育成を行い、東京電力福島第一廃炉推進カンパニー等への人材輩出および実効的な技術支援を行うことができる。

以上のような背景と実情を打開することを目指して、本研究では、2014 年 6 月現在、「東京電力(株)福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(原子力災害対策本部 東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議 平成 25 年 6 月 27 日)を踏まえて、地盤・地下水調査、建設施工、モニタリング、処分技術の専門家としての観点から、福島第一原子力発電所からの燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発において基礎となる基盤研究の選定と予備検討、研究体制の構築、また最終的な研究のゴールである人材育成に関するプログラムのプロトタイプの構築をねらいとしている。

技術開発の基礎となる基盤研究としては、燃料デブリ取出しから廃止措置までの期間、作業空間の安全性確保を今後 40 年間、維持しなければならないことから、「①高度かつ緻密な地下水調査・地下水流動解析技術による広域な現況評価と将来予測」、地盤工学において多数の実績を有するボーリング技術を含む地下掘削技術を燃料デブリ取出し技術に応用する観点から「②遠隔操作によりトンネル掘削が可能なシールド・TBM(トンネル・ボーリング・マシン)技術を活用したデブリ取り出し技術と高空間放射線量環境での作業改善のための地下基地建設技術の開発」、さらに燃料デブリ取出し後に引き続き実施される原子炉建屋の解体に伴い発生する放射性廃棄物の処分などを具体的実施するための「③放射性廃棄物処分が開発してきた地盤工学技術を活用したデブリの処分方法と原子炉建屋デコミッションング技術の開発」を挙げた。

研究実施体制の構築と教育プログラムの具体化については、次の通りである。2014 年 5 月 30 日に、地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」(以下、会長懇談会と記述する)が設置されている。今年度は、この懇談会を起点に、地盤工学会の最大の特長

である「産官学」からの会員メンバーから構成される研究体制を整え、燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発項目の具体化を行う。さらには原子力工学分野と地盤工学との融合教育の観点から、これらの土質系遮水材料等の放射線遮へい性能についての予備調査（早稲田大学再委託研究）および「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術」教育プログラムの試作を行うことを、具体的なねらいとしている。

今年度の研究成果は次の通りである。すなわち、

#### 1) 地盤工学会内における研究体制の構築

今年度のもっとも早く着手しなければならない研究体制であるが、地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」の下に、電力や放射性廃棄物関連の技術者を加えてコアメンバーとした。さらに、具体的な技術開発においては、建設会社や地質・地下水調査コンサルタント他の技術者の参画が必要であることから、多くの分野からの技術者の参加が実現できた。コアメンバーと併せて、34名の研究体制の構築ができた。参画メンバーを参集し、2014年10月31日に、第一回の情報交換・ブレインストーミングの会合を開催した。この会合の主題は、①地盤工学会の研究プロジェクトのコンセプトの説明、②今後進めていく上での注力すべき主題の絞り込み、および③中長期ロードマップとの関連を意識した技術開発項目の具体化、であった。意見交換を通じて、若手技術者や学生のモチベーションを向上させるための教育プログラムの重要性が強調されるとともに、中長期ロードマップの内容を精査し、研究・技術開発すべき事項の明確の必要性が明らかになった。これを受けて、2014年12月10日に開催した第二回の情報交換・ブレインストーミングの会合において、内閣府および東京電力の方から、中長期ロードマップの概要説明と現状の進行状況について説明を実施した。

以上の技術的議論に加えて、福島第一原子力発電所の状況を、地盤工学者・土木技術者の観点から確認することを目的に、当該地点の地質断面図の情報も踏まえて、現地の視察をコアメンバーで実施した。

#### 2) 放射線遮蔽機能を有する粘土系グラウト材・重泥水の可能性調査と土木系学生に対する放射線遮蔽実験のカリキュラム内容の可能性

再委託先の早稲田大学において、燃料デブリ取出しにおいて活用のある放射線遮蔽機能を持つグラウト材、重泥水開発の予備調査を、2014年11月30日～12月3日の期間で行った。具体的には、ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社の施設を使用して、放射線遮蔽実験の手順の習得も目的として実施した。また、重泥水の他にも、一般的な地盤を想定して、砂、シルト、粘土を主体とする土質材料についても放射線遮蔽実験を行った。

本実験を通じて、再臨界を抑制できる中性子毒のホウ素を含んだ重泥水の試作およびこれらを含むベントナイトや土質系材料の放射線遮蔽特性に関する基礎データの取得を行うとともに、これらの有する放射線遮蔽の可能性および有効性について確認した。重泥水は、ガンマ線の遮蔽に有効な比較的高い比重を持つとともに、中性子線の吸収に効果的な水に加えホウ素を混入することもできることから、ガンマ線および中性子線の遮蔽に効果的であると考えられる。また、土木系学生が廃止措置等へ従事する際の基礎的な学習項目として、放射線遮蔽実験が有効であることも確認できた。

#### 3) 講義「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術（仮題）」のカリキュラムの方針

学部学生を対象とした講義「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術（仮題）」のカリキュラムの方針を議論し、次のようなたたき台を提示した。すなわち、①高度な地下水流動評価のための基盤研究課題の抽出と地下水流動を理論的に理解するためのダルシーの法則と地下水流動、原子力分野における性能評価のための数値解析法の基礎理論、②地下掘削および地下空洞の安定性評価において重要な土のせん断特性評価や土圧論をベースとする地下空洞建設技術に関する講義と、ボーリング、NATM、シールド、TBM という日本が世界に誇る地下掘削技術の現状と廃止措置に向けた技術開発課題、さらに③放射性廃棄物の環境影響評価を理解するための環境地盤工学の基礎知識を各5回、全15回の構成とする方針を決めた。

以上の研究成果を踏まえ、今後の展開は以下のように考えられる。すなわち、

先に示した研究体制をもとに、①地盤・地下水環境の現況調査と将来予測、②燃料デブリの取出し施工技術、③廃棄物処分とデコミッションングの3つのワーキンググループを構築し、各テーマに対するより詳細な人材育成のための教育内容と具体的な研究・技術開発課題の抽出を進める。

放射線遮蔽実験の土木系学生に対するカリキュラム化および放射線遮蔽性能を有するグラウト材、重泥水の予備調査を足掛かりに、中長期ロードマップの内容を精査しながら、考えられる技術課題の抽出と詳細な検討の開始を行う。

さらに、講義「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術（仮題）」のカリキュラムの内容を明確化するとともに、2015年度に行う第50回地盤工学研究発表会（開催場所：北海道）において「汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成プログラムの必要性」と題した特別セッションを公開し、今後の本研究の進むべき方向性について、地盤工学の観点から展開されるべき研究内容や原子力技術者と協働できる新しい地盤技術者の育成方針について議論する。

## 1. はじめに

地盤工学は、地下水流動予測や凍土壁、薬液注入、粘土系遮水技術、地下水くみ上げ等の技術を通じて被災した福島第一原子力発電所構内において発生している汚染水の対策に寄与しているのみならず、廃止措置に至る今後の過程でも地下掘削技術や放射性廃棄物処分技術で重要な役割を果たすことができる。一方、地盤工学・土木工学の専門家・技術者の多くは、一般公共事業への寄与を主な目的として技術開発を行っており、必ずしも原子力工学分野に詳しくないのも事実である。すなわち、地盤工学・土木工学の専門家・技術者の多くは、福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置に貢献できる基本的技術を保有しているにもかかわらず、原子力工学分野の求めている事項を認識していないが故に、直接的な寄与ができていないのが実情と考えられる。

また、多くの土木工学系学科においては、一般公共事業への寄与を念頭に置いた技術者教育が展開されている。今後 40 年にもわたる福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置までの工事に寄与できる人材を育成するためには、従来型の地盤工学・土木技術者教育に加えて、原子力工学分野の知見・教育事項を取り入れた新しいカリキュラムの構築と実践が必要不可欠である。具体的には、20 世紀に地盤工学・土木工学が大いに貢献してきた原子力発電所建設技術に加え、原子力発電所の立地・建設から放射性廃棄物処分、廃止措置までを一貫して担うことのできる教育プログラムを構築することが必要である。これにより、汚染水対策・燃料デブリ取出しから廃止措置までを土木工学・地盤工学の観点から貢献する技術産業を創出し、若者が将来の職業として魅力を感じる産業の育成を行い、東京電力福島第一廃炉推進カンパニー等への人材輩出および実効的な技術支援を行うことができる。

以上のような背景と実情を打開することを目指して、本研究では、2014 年 6 月現在、「東京電力(株)福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(原子力災害対策本部 東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議 平成 25 年 6 月 27 日)を踏まえて、地盤・地下水調査、建設施工、モニタリング、処分技術の専門家としての観点から、福島第一原子力発電所からの燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発において基礎となる基盤研究の選定と予備検討、研究体制の構築、また最終的な研究のゴールである人材育成に関するプログラムのプロトタイプ構築をねらいとしている。

技術開発の基礎となる基盤研究としては、燃料デブリ取出しから廃止措置までの期間、作業空間の安全性確保を今後 40 年間、維持しなければならないことから、「①高度かつ緻密な地下水調査・地下水流動解析技術による広域な現況評価と将来予測」、地盤工学において多数の実績を有するボーリング技術を含む地下掘削技術を燃料デブリ取出し技術に応用する観点から「②遠隔操作によりトンネル掘削が可能なシールド・TBM(トンネル・ボーリング・マシン)技術を活用したデブリ取り出し技術と高空間放射線量環境での作業改善のための地下基地建設技術の開発」、さらに燃料デブリ取出し後に引き続き実施される原子炉建屋の解体に伴い発生する放射性廃棄物の処分などを具体的に実施するための「③放射性廃棄物処分で開発してきた地盤工学技術を活用したデブリの処分方法と原子炉建屋デコミッションング技術の開発」を挙げた(図 1 参照)。



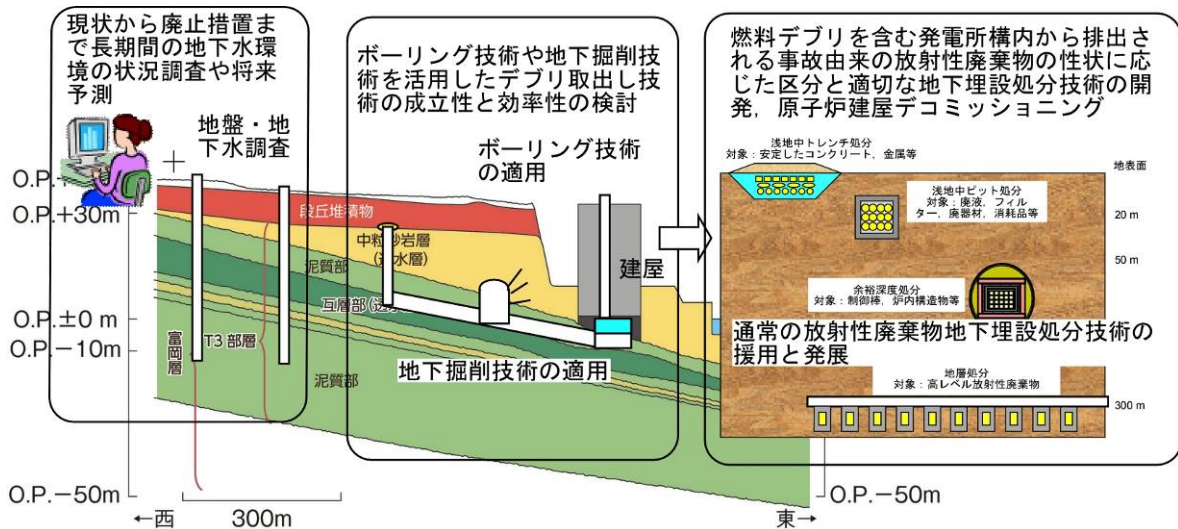


図 1-1 福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しから廃止措置における地盤工学分野の個別基礎研究のイメージ

(放射性廃棄物地下埋設処分に資する学術的知見・要素技術が活用できることを意図して示した概念である。)

2014年5月30日に地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」が設置されている。今年度は、この懇談会を起点に、地盤工学会の最大の特長である「産官学」からの会員メンバーから構成される研究体制を整え、燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発項目の具体化を行う。

## 2. 業務計画

### 2.1 全体計画

福島第一原子力発電所事故に伴うデブリ取出しから廃止措置、その後の処分およびデコミッショニングに地盤工学の観点から貢献することを目途に、高放射線環境等原子力特有の条件を地盤工学に融合し、原子力発電所の現状から廃炉までの時間軸を考慮して、次の個別基盤研究、すなわち①現状から廃止措置まで長期間の地下水環境の状況調査や将来予測、②ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術の成立性と効率性の検討、③放射性廃棄物地下埋設処分と原子炉建屋デコミッショニングに関する実現可能な技術の開発、を行うための研究実施体制の構築とフィージビリティ研究を行うことを目的とする。また、これらの個別基盤研究に関連する地盤遮水技術のレビューと教育プログラムについても検討する。

### 2.2 平成26年度の成果の目標及び業務の実施方法

公益社団法人 地盤工学会では、上記の個別基盤研究①～③の研究実施体制を構築するため、地盤工学会員の中から建設会社、コンサルタント、大学・研究機関等に所属する研究者・技術者を募り研究推進委員会(仮称)を作り業務を行う。早稲田大学では、個別基盤研究の検討を進める上で必要な地盤工学技術レビューと地盤遮水材料の放射線遮へい特性について、地盤工学会からの再委託によって調査する。

#### 2.2.1 個別基盤研究のための研究体制づくりとフィージビリティ研究

##### (1) 現状から廃止措置まで長期間の地下水環境の状況調査や将来予測

地質・地下水に詳しい研究者・技術者を募って研究推進委員会のワーキンググループを作り、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討する。

##### (2) ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術の成立性と効率性の検討

ボーリングや建設施工に詳しい研究者・技術者を募って研究推進委員会のワーキンググループを作り、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討する。

##### (3) 放射性廃棄物地下埋設処分と原子炉建屋デコミッショニング

放射性廃棄物処分や構造物解体に詳しい研究者・技術者を募って研究推進委員会のワーキンググループを作り、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討する。

#### 2.2.2 各種地盤遮水材料の放射性遮へい性能調査

上記 2.2.1(1)～(3)のテーマにおいて共通して使用される地盤技術として、地盤改良・遮水技術がある。そこで用いられる地盤遮水材料については、地盤工学分野では、その透水特性については数多くの研究実績がある。そこで、原子力工学分野と地盤工学との融合教育の観点から、これらの地盤遮水材料の放射線遮へい性能について調査する。この調査活動は、早稲田大学への再委託として実施する。

### 2.2.3 「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術」教育プログラムの試作

上記 2.2.1～2.2.2 での検討を経て得られる知見をもとに、講義「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術（仮題）」のカリキュラム・シラバスを検討し試作する。

### 3. 平成26年度の実施内容及び成果

#### 3.1 個別基盤研究のための研究体制づくりとフィージビリティ研究

##### 3.1.1 目的

公益社団法人 地盤工学会では、次の個別基盤研究、すなわち①現状から廃止措置まで長期間の地下水環境の状況調査や将来予測、②ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術の成立性と効率性の検討、③放射性廃棄物地下埋設処分と原子炉建屋デコミッションングに関する実現可能な技術の開発、を行うための研究実施体制の構築とフィージビリティ研究を行うことを目的とする。上記の個別基盤研究①～③の研究実施体制を構築するため、地盤工学会員の中から建設会社、コンサルタント、大学・研究機関等に所属する研究者・技術者を募り研究推進委員会(仮称)を作り業務を行う。

##### 3.1.2 研究体制づくりとフィージビリティ研究の方法

2014年5月30日に、表3-1に示す地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」(以下、会長懇談会と記述する)が設置されている。今年度は、この懇談会を起点に、地盤工学会の最大の特長である「産官学」からの会員メンバーから構成される研究体制を整え、燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発項目の具体化を行う。

表3-1 地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」メンバー

氏名	所属	学会内での職務
東畑 郁生	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 (当時)	地盤工学会会長、会長懇談会委員長
鈴木 誠	千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科	地盤工学会副会長、会長懇談会委員
小峯 秀雄	早稲田大学理工学術院 創造理工学部 社会環境工学科	会長懇談会座長
後藤 茂	東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻 土質/地盤研究室 (当時)	会長懇談会幹事長
末岡 徹	大成建設 (株) 技術センター (当時)	地盤工学会前会長、会長懇談会副委員長
浅岡 顕	公益財団法人地震予知総合研究振興会	地盤工学会元会長、会長懇談会アドバイザー
日下部 治	茨城工業高等専門学校	地盤工学会元会長、会長懇談会アドバイザー
三村 衛	京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻	会長懇談会委員
勝見 武	京都大学大学院 地球環境学	会長懇談会委員

##### 3.1.3 研究体制づくりの結果とフィージビリティスタディ研究の成果

今年度のもっとも早く着手しなければならない研究体制であるが、前述の表3-1に示す地盤工

学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」の下に、表 3-2 に示す電力や放射性廃棄物関連の技術者を加えて、コアメンバーとした。

表 3-2 表 3-1 に加わる研究コアメンバー

氏名	所属	備考
高尾 肇	日揮（株） 第 3 事業本部 プロジェクト第 1 部 原子力ソリューショングループ	研究申請メンバー
河西 基	東京電力（株） 福島第一廃炉推進カンパニー プロジェクト計画部 土木・建築設備グループ 一般財団法人電力中央研究所 地球工学研究所 (株)アサノ大成基礎エンジニアリング 資源エネルギー事業部	
酒井 俊朗	一般財団法人電力中央研究所 原子力リスク研究センター	
大橋 秀昭	技術研究組合 国際廃炉研究開発機構（IRID） 開発計画部 兼 研究管理部	
黒木 亮一郎	(独) 日本原子力研究開発機構 福島研究開発部門 企画調整室	
藤崎 淳	原子力発電環境整備機構（NUMO） 技術部 工学技術グループ	
斉藤 泰久	パシフィックコンサルタンツ（株） 環境創造事業本部 地盤技術部 地盤環境マネジメント室	

さらに、具体的な技術開発においては、建設会社や地質・地下水調査コンサルタンツ他の技術者の参画が必要であることから、表 3-3 に示す技術者の参加が実現できた。コアメンバーと併せて、34 名の研究体制の構築ができた。

表 3-3 建設会社や地質・地下水調査コンサルタンツ他の技術者の参画状況

氏名	所属
新貝 文昭	パシフィックコンサルタンツ（株） 環境創造事業本部 地盤技術部 地盤環境マネジメント室
菱岡 宗介	パシフィックコンサルタンツ（株） 環境創造事業本部 地盤技術部 地盤環境マネジメント室
田中 耕一	鹿島建設（株） 土木設計本部 地盤基礎設計部
高村 尚	鹿島建設（株） 土木設計本部 地下空間設計部 原子力環境グループ
須山 泰宏	鹿島建設（株） 原子力部 企画室
井尻 裕二	大成建設（株） 原子力本部 原子力技術第三部
長峰 春夫	大成建設（株） 原子力本部 原子力技術第三部
堀越 研一	大成建設（株） 技術センター 技術企画部 企画室
奥野 哲夫	清水建設（株） 技術研究所 社会基盤技術センター
土 宏之	清水建設（株） 土木事業本部 土木技術本部 バックエンド技術部
樋口 義弘	清水建設（株） 土木事業本部 土木技術本部 バックエンド技術部
山本 修一	(株) 大林組 低レベル放射性廃棄物処分プロジェクト

深谷 正明	(株)大林組 原子力本部 原子力環境技術部
松田 隆	(株)大林組 技術研究所
下河内 隆文	(株)竹中工務店 原子力火力本部 計画推進1グループ
菱谷 智幸	(株)ダイヤコンサルタント ジオエンジニアリング事業本部 地圏環境事業部
高橋 美昭	東京電力(株) 建設部
豊口 佳之	内閣府 廃炉汚染水対策チーム事務局 (経産省資源エネルギー庁)
塩月 正雄	(独)日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所 環境技術開発センター
西本 壮志	一般財団法人電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター/ 原子力リスク研究センター 自然外部事象研究チーム
渡邊 保貴	一般財団法人電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター

表 3-1～3-3 に示すメンバーを参集し、2014 年 10 月 31 日に、第一回の情報交換・ブレインストーミングの会合を開催した。この会合の主題は、①地盤工学会の研究プロジェクトのコンセプトの説明、②今後進めていく上での注力すべき主題の絞り込み、および③中長期ロードマップとの関連を意識した技術開発項目の具体化、であった。意見交換を通じて、若手技術者や学生のモチベーションを向上させるための教育プログラムの重要性が強調されるとともに、中長期ロードマップの内容を精査し、研究・技術開発すべき事項の明確の必要性が明らかになった。

これを受けて、2014 年 12 月 10 日に開催した第二回の情報交換・ブレインストーミングの会合において、内閣府および東京電力の方から、中長期ロードマップの概要説明と現状の進行状況について説明を実施した。

以上の技術的議論に加えて、福島第一原子力発電所の状況を、地盤工学者・土木技術者の観点から確認することを目的に、当該地点の地質断面図の情報も踏まえて、現地の視察を表 3-1 および表 3-2 のメンバーで実施した

また、先に挙げた①～③の個別基盤研究のフェージビリティ研究を進め、以下のような各研究方針で進めることの重要性を提示した。

(1) 現状から廃止措置まで長期間の地下水環境の状況調査や将来予測

地質・地下水に詳しい研究者・技術者を募って研究推進委員会のワーキンググループを作り、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討した。その結果、地盤・地下水環境管理における地盤工学的技術として廃止措置に向けて、図に示すような地盤環境学、地盤材料学、地盤施工学などいくつかの学問体系が必要となる。

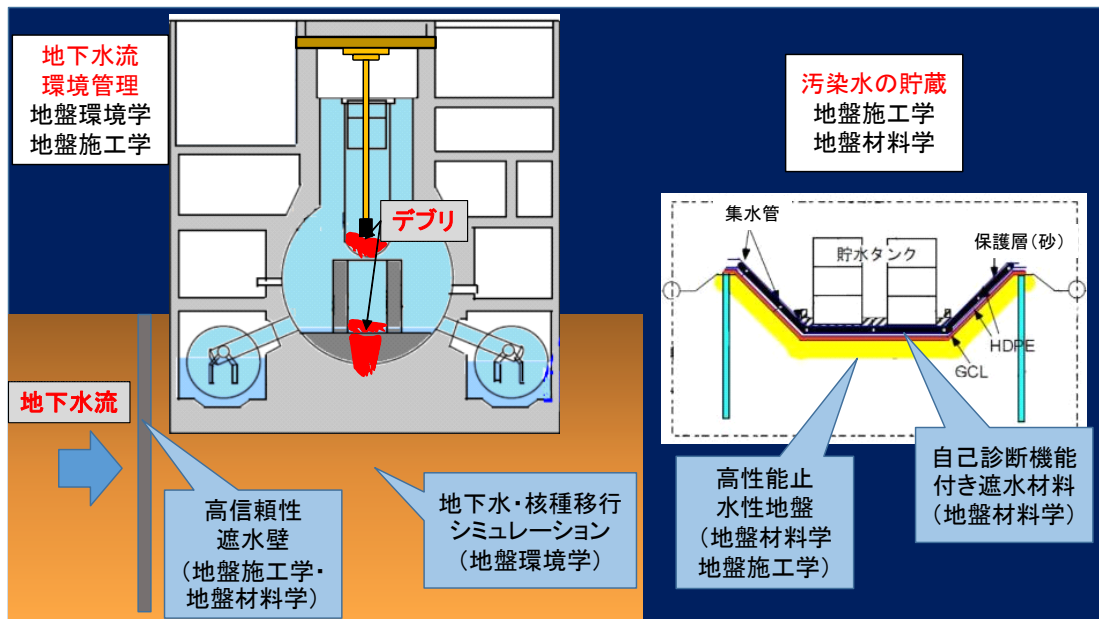


図 3-1 地盤・地下水環境管理における地盤工学的技術

図 3-1 からわかるように、地下水の現況測定・将来予測に関して大別して下記のような個別基盤研究項目がある。

- ・地下水・放射性物質の移行調査技術と地下水・放射性物質流動解析技術による広域な現況評価と将来予測
- ・多重バリアを含む高信頼性の地下水流遮断技術
- ・自己診断機能付き遮水材を活用した汚染水保管施設

地下水に関する必要事項について、人材育成的局面と技術開発局面の両面から今後の課題を明らかにした。実施項目は、大別して実験・調査系とモデル化・解析系に分類される。最初は現状把握で現場実験・計測から始まり、そこで収集した情報から種々の施工などを考慮したときの将来予測を行うための数値解析に結びつける。この将来予測は、地下水環境変化に伴う環境リスクを数値的に評価しようとすることを目的にしている。

机上検討の結果を踏まえて、地下水に関わる実験・調査系とモデル化・解析系の個別基盤研究をまとめた。

【実験・調査系】

現況評価するための地下水に関わる基本的現象の把握と数値解析モデルを対象とした地盤パラメータの把握を目的とする。ここでは、特に地盤浸透流が一般にダルシーの法則を仮定した解析であるのに対し、実際に地下水は土粒子の間隙や岩盤の亀裂の間を流れる。地下水流量を等価と仮定したダルシーの法則は井戸の揚水量などの予測には適用できるが、最終的な物質輸送を伴う流れには課題がある。このため、現場実験と室内実験を行い、これらの差異を定量的に理解するとともに、より合理的な解析のための基礎データを収集する。また、実験から数値解析モデルの地盤パラメータ推定を実施し、その課題や精度などをまとめる。

【モデル化・解析系】

水理地下水のモデル化および浸透流解析・物質移行解析（核種移行解析）が中心であるが、領域が大きくなると大容量・高速化の数値解析が必要となる。そこで、ハード（クラスタマシン）

やソフト（解析と図化）の環境整備を行い、解析コードの高度化を図る。室内実験の結果をシミュレートして、その妥当性を検証し、現場実験に展開する。このとき、地盤の不均質性や地盤特性の不確かさがどの程度影響するかを定量的に評価し、その課題や精度などをまとめる。

解釈・評価に関しては、データの品質の吟味を行い、データの不確かさを定量的に評価する。また、解析モデル・予測結果の妥当性として、不均質性の評価（情報量の過不足含）と解析結果の不確かさの評価を行う。最終的には総合評価として、目的を満たす解析結果の吟味、解析モデル・結果の確からしさを向上するための課題、次ステップの調査・解析・評価の計画立案を行う。個別基盤研究として、次のような具体的な研究実施項目と実施概要を表 3-4 にまとめた。

表 3-4 実施項目と実施概要

分類	実施項目			実施概要／測定内容
	大区分	中区分	小区分	
全体概要	地下水流動・物質移動の全体概要			参考図書、事例集等を用いた机上講義・紹介
	地下水流動・物質移行の基礎理論			
	基本計画立案の考え方			
	調査・試験の概要			
	モデル化・解析の概要			
実験・調査系	調査・試験方法の概論			
	室内試験			
		供試体を用いた実験	物性試験	間隙率・密度測定等
			透水試験	セルを用いた定常・非定常試験
		土槽実験（地盤ブロック試験）	透水試験	透水係数・比貯留係数の把握
			孔間試験	透水係数・比貯留係数の把握
			トレーサー試験	流速、物質の収着・吸着現象の把握
	現場試験	単孔試験（水理）	井戸掘削と仕上げ方法	調査観測のための井戸掘削と仕上げ方法
			（物理検層／BTV・BHTV）	比抵抗、密度、温度、孔径、孔壁観察
			平衡水位・間隙水圧測定	孔内の平衡水位／水圧の把握
			水みち検層	地下水流動を支配する流動層の把握
			透水試験（データ解析含）	透水係数・比貯留係数の把握
			流向・流速測定	流向・流速の把握
			トレーサー試験	流速、物質の収着・吸着現象の把握
		単孔試験（地球化学）	物理化学パラメータ測定	pH、ORP、温度、溶存酸素量



			採水調査	連続採水、被圧不活性状態の採水
			現場での簡易分析	主要化学成分／染料濃度の把握
		孔間試験	透水試験（データ解析含）	透水係数・比貯留係数の把握
			トレーサー試験（流動経路）	移動経路、流速・流向の把握
			トレーサー試験（物質移行）	物質の取着・吸着現象の把握
		長期モニタリング	水位・水圧観測	孔内の平衡水位／水圧変化の把握
			物理化学パラメータ観測	pH、ORP、温度、溶存酸素量の変化
			採水調査	地下水の地球化学成分変化の把握
モデル化・解析系	モデル化・解析の概要			
	モデル作成	水理・地質構造構築	地形	水理境界を考慮した解析領域設定の考え方
			地質区分	地質構造の考え方
			水理区分	水理区分の考え方
			ツール	ツールの使い方、実習
		メッシュ分割	2D	断面の選択、適切な要素分割の考え方
			3D	解析領域、要素分割数と計算時間の考え方
			ツール	ツールの使い方、実習
	解析	浸透流解析	基礎理論	基礎理論の把握
		物質移行解析	初期条件	初期条件設定の考え方
		核種移行解析	境界条件	境界条件設定の考え方
			水理定数	水理定数の意味
			移行特性	移行特性の意味
			解析コード	入出力マニュアルの把握
			解析実習	解析事例の実施
		解析コードの高度化	核種移行	核種崩壊系列の導入
	図化处理	図化	実習	解析事例の図化处理実習
		流跡線解析	理論と実習	流跡線解析の理論、実習
		線量評価	理論と実習	線量評価の考え方、実習
	データの品質の吟味	データの不確かさ		
	解析モデル・予測結果の妥	不均質性の評価（情報量の過不足含）		

	当性			
		解析結果の不確かさの評価		
	総合評価	目的を満たす解析結果の吟味		
		解析モデル・結果の確からしさを向上するための課題		
		次ステップの調査・解析・評価の計画立案		

また、これら個別課題の概略スケジュールを表 3-5 にまとめた。

表 3-5 概略スケジュール

分類	実施項目	1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目
全体概要	各項目の整理	説明資料の作成 ↔				
実験・調査系	室内試験	試験機材の手配・制作 ↔	試験実施 ↔	まとめ ↔		
	現場試験	試験場の手配 ↔	試験井戸の掘削 ↔	機能確認・実証試験 ↔	まとめ ↔	
モデル化・解析系	モデル作成	ハード・ソフト 環境整備 ↔	実習資料の作成 ↔	ブレ講習・資料改訂 ↔	実験・調査系シミュレーション ↔	資料改訂 ↔
	数値解析	ハード・ソフト 環境整備 ↔	プロトタイプの開発 ↔	解析コードの検証 ↔	実験・調査系シミュレーション ↔	資料改訂 ↔
	図化	ハード・ソフト 環境整備 ↔	実習資料の作成 ↔	ブレ講習・資料改訂 ↔	実験・調査系シミュレーション ↔	資料改訂 ↔
解釈・評価	総合評価					まとめ・課題 ↔

(2) ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術の成立性と効率性の検討  
 ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術について、今回召集した研究メンバーでグループを組織し、議論を実施した。当初の申請はデブリの位置により取り出し方法を最

適なものに変えることをコンセプトにしており、デブリのすべての状態を想定した議論が必要である。しかし、単年度の FS であることから、難易度が最も高いと思われる、デブリが格納容器下部のコンクリート奥深くまで浸食した場合を想定した方法について特に入念な議論をおこない成立性を検討した。これは、シールドトンネルを用い、建屋直下の地下からのシールドマシンの切削能力によってコンクリートごとデブリを取出し方法である。そのイメージ等を図 3-2 に示す。

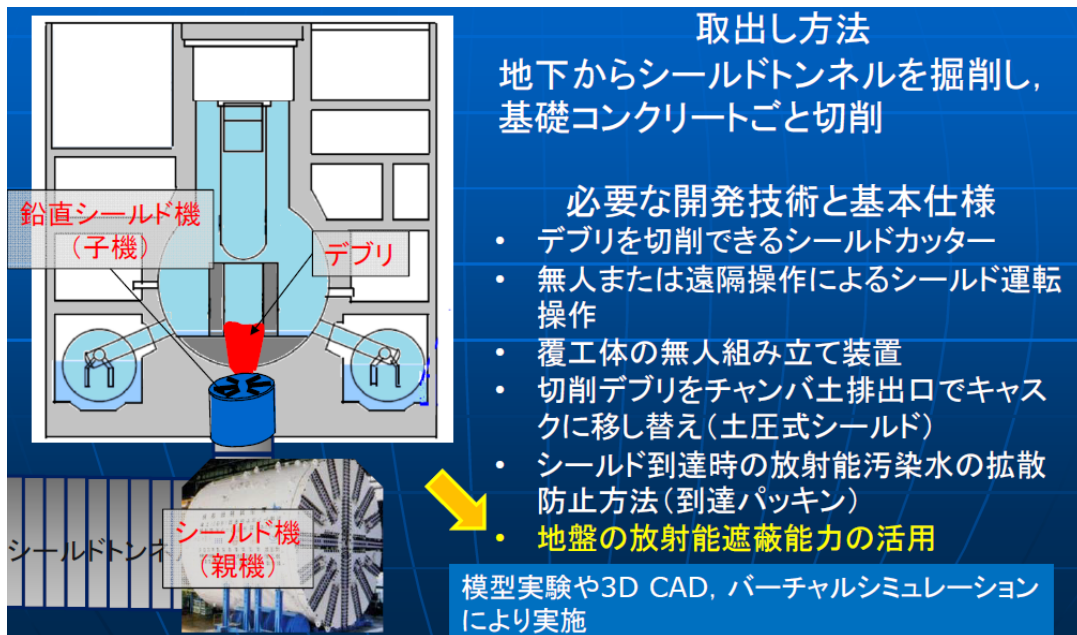


図 3-2 シールドトンネルを主体にした技術

検討の結果、この方法の成立の主な要件として①トンネルの空間放射能の遮蔽性を高める技術、②原子炉建屋直下まで掘進を進める技術、③建屋直下から垂直に子シールド機を発進させる技術、④シールド機で基礎コンクリートを食い破る技術、⑤これらの作業を無人で行う技術などがあることが明らかになった。これらの技術について現状の概略調査をおこなった結果、現状のレベルは十分とは言えないものの、必要とされる技術の基礎の部分は確立されており、技術開発を進めることによって成立性がかなり高まることを明らかにできた。

しかしながら、上記の建屋真下からシールドトンネルを用いてアプローチする方法は克服しなければならない致命的な欠陥があり、デブリを嘔みとってシールドトンネルと格納容器がつながった瞬間にトンネル全体が放射線汚染空間になることを克服しなければならない。特に格納容器が空間放射線遮蔽のために冠水がおこなわれた場合には、汚染された水がトンネル内に流れ込み汚染領域が一挙に拡大することが考えられる。それを防止する技術として、通常のシールドで用いられている「エントランスパッキン」や山岳トンネルで用いられる「隔壁」等の技術を調査したが、現状の技術は遮蔽・止水性能や無人施工の面で要求レベルと大きな隔たりがあることが明らかになった。

そこで、シールドトンネルを主体にした検討を一時断念し、ボーリング等を主体にした上部からのデブリ取出しに焦点を切り替えることにした。ボーリングを主体としたデブリの取り出しではボーリングビットの切削性などとともに、ボーリングヘッドの位置制御精度の向上や掘削ズリの取出し処理などの技術が重要になる。また、現状の格納容器は水漏れによりまともに冠水すら

できない状態のものもあり、高放射線環境となっていることから、取出し作業やそのメンテナンス作業、準備作業で人間が近づくことが難しくなっている。また、格納容器内には様々な障害物があり、底部にたまったデブリにたどり着くためにはそれらをよけてボーリングをおこなう必要がある。現状で石油掘削やシェルガスの掘削に用いられているコントロールボーリングはある程度の位置制御可能な技術であるが、ボーリング先端部の進行方向を変えるには掘削したボーリング孔の側壁を反力として扱っており、格納容器内のように空間中で姿勢制御をおこなうことはできない。

以上のことから、ボーリング等によるデブリの取り出しに焦点を当て、その補助技術の検討を主体に検討課題を抽出することとした。そのイメージを図 3-3 に示す。具体的には、ボーリングによる削孔では泥水が削孔刷りの搬出などのために用いられるが、現在早稲田大学が主体で開発している超重泥水は比重が 2.5 ときわめて大きく、ガンマ線の遮蔽能力として高いものが期待でき、水分が多いことから中性子線の遮蔽性能も期待できる。また、泥水を固化できるようにした流動化処理土は静置した状態で固めることができるので、水漏れ箇所をふさぐ効果が期待できる。さらに、高吸水性ポリマーの塩基性環境下での吸着水の逸脱を利用すれば液性状態と塑性状態を自由に変相できる泥水も作成できる可能性がある。これらの泥水は①デブリ取出し関連作業での人間のアプローチの実現、②ボーリング位置制御の容易化、③格納容器の水漏れ停止、④一時的なデブリの封じ込め、などに有効である。

以上から、空間放射線の遮蔽性の高い泥水の検討を主体とし、それを固化させる超重流動化処理土の作製実現性やそれを液性・塑性・変相自由にした泥水の可能性などが検討課題として抽出された。次年度以降の検討が行なわれる場合にはこれらの課題の実現性を高めることが主体となるよていである。但し、地下トンネルに関してはシールドによる直接的なデブリの噛み取りは断念したものの、建屋下の遮蔽処理に地下基地の有用性が残されているため、検討を継続することとした。これらの技術は新たに創設される「廃炉地盤工学」の中で体系付けて教育されることになる予定である。

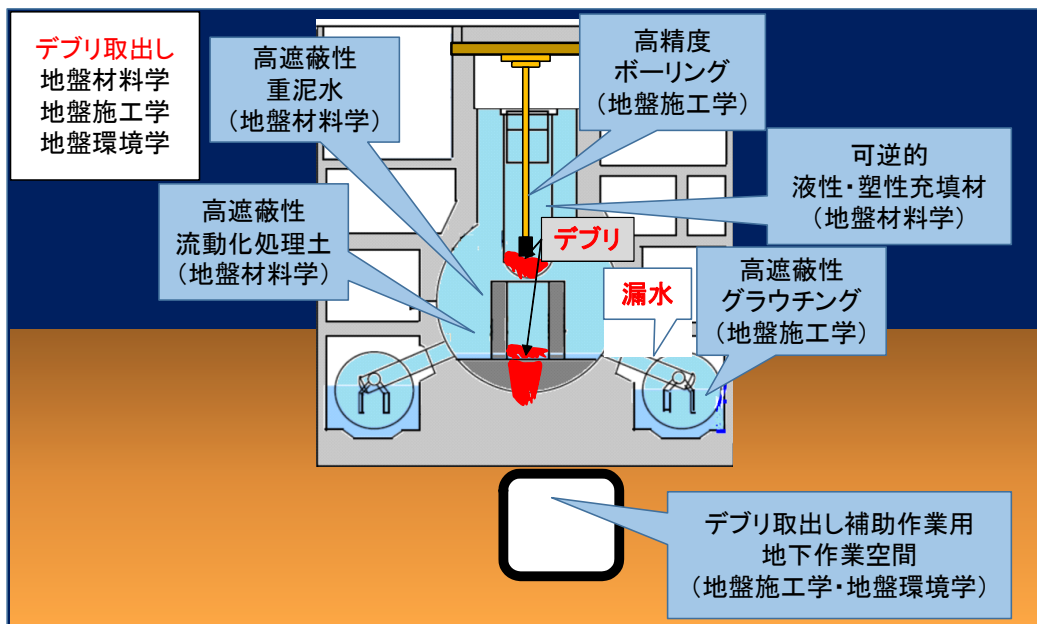


図 3-3 重泥水などのデブリ取出し補助技術

### (3) 放射性廃棄物地下埋設処分と原子炉建屋デコミッション

原子力発電所の運転などに伴い発生する放射性廃棄物の処分については、原子力の安全利用と並行して研究・技術開発が行われてきた。放射性廃棄物を地下に埋設処分することが有力とされたことから、地盤工学分野の技術者や研究者は、基礎研究から事業化技術まで幅広く貢献してきた歴史がある。福島第一原子力発電所の事故を背景とする発電所構外の除染や仮置き、そして、中間貯蔵施設の建設・運用に向けた取り組みにおいても、地盤工学の関係者が鋭意活動中である。

常時に限らず、本プログラムで対象とする福島第一原子力発電所の廃止措置においても、燃料デブリ取出し後に引き続き実施される原子炉建屋の解体に伴い発生する廃棄物の処理・処分方法を具体的に検討しておかなければならない。そこで、原子炉建屋の解体に伴い発生する廃棄物の処分と原子炉建屋デコミッションに対して、放射性廃棄物処分のために開発してきた地盤工学技術の活用方法、あるいは、地盤工学的観点からの研究課題について議論を実施した。

議論に参加したメンバーは、表 3-1～3-3 に示すとおりであり、従前より高レベル放射性廃棄物、TRU、低レベル放射性廃棄物、福島県内の除染・仮置き・中間貯蔵等の検討に関わってきたメンバーも含まれる。人材育成の趣旨を勘案し、地盤工学会に所属する若手研究者も議論に参画した。そのため、経験に基づく実現可能性を念頭に置きつつ、新しい発想を取り入れられる柔軟な議論を目指せる体制となった。

日本原子力学会「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」特別専門委員会による平成 25 年度報告書「福島第一原子力発電所事故により発生する放射性廃棄物の処理・処分」によれば、いわゆる福島第一事故廃棄物は、①汚染水処理に伴う二次廃棄物、②放射性核種を帯びた瓦礫、伐採木、土壌等、そして、③燃料デブリや解体廃棄物に分類されている。すでに、②瓦礫、伐採木、土壌等は構内で一時保管されており、今後、作業の進展に伴い物量が増加することも想定されている。東京電力によれば、それぞれの構造は、図 3-4 に示す覆土式一時保管施設と図 3-5 に示す伐採木一時保管槽となっている。

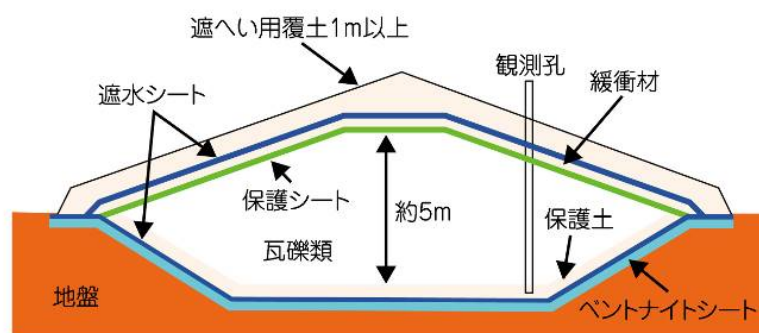
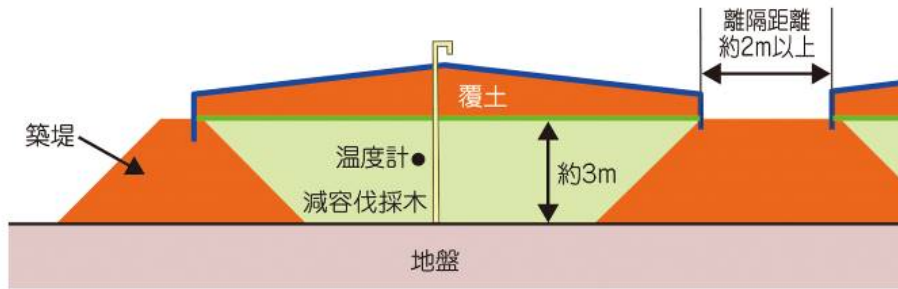
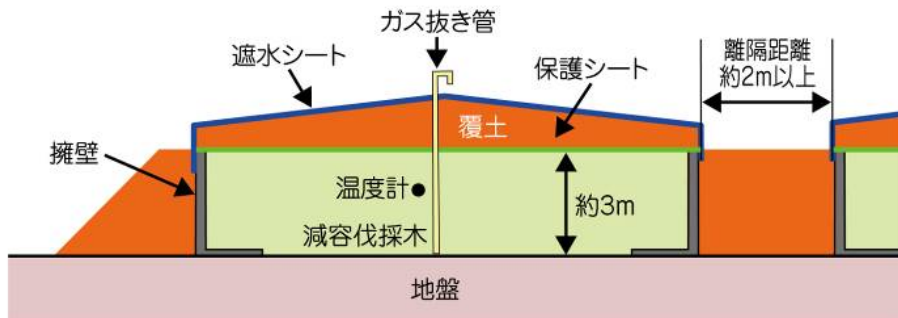


図 3-4 瓦礫類の覆土式一時保管施設

(東京電力株式会社、“東京電力福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画、2. 10 放射性固体廃棄物の管理施設、平成 25 年 8 月 14 日、II-2-10-添 4-1。より図をトレースして使用した)



(a) 築堤タイプ



(b) 擁壁タイプ

図 3-5 伐採木一時保管槽

(東京電力株式会社, “東京電力福島第一原子力発電所特定原子力施設に係る実施計画, 2.10 放射性固体廃棄物等の管理施設, 平成 25 年 8 月 14 日, II-2-10-添 4-1. より図をトレースして使用した)

福島第一原子力発電所構内の現状を踏まえて、地盤工学的観点から今後の課題に関わる事項が以下の通り抽出された。

- ・ 今後増加することが予想される保管物／廃棄物に対して、保管施設の拡充や効率的運用、処分方法について具体化する必要がある。
- ・ 現状は保管物搬入の途中であり、覆土が完了していない。常時の施工より覆土が困難になること、覆土や築堤の品質管理（遮へい効果、力学的安定性）、覆土資材の削減について具体化する必要がある。

地盤工学では、一般／産業廃棄物の最終処分場の設計、建設、運用、点検補修に経験を有する。図 3-4 や図 3-5 は最終処分場の構造と非常に類似している。そのため、放射線安全の視点を付与することにより、上記 2 点の工学的対策手段を示すことは十分に可能であると考えられる。不飽和土の締固めにおいて、間隙水と土粒子の放射線低減効果と力学的安定性を最適化することを次の展開の一つとする。

原子力発電所の廃止措置は、燃料の搬出を完了した後、発電所構成部材の系統除染と、放射性物質の減少を待たための安全貯蔵を経て解体することを基本的な手順としている。福島第一原子力発電所においても、それを考え方の基本とされるはずである。しかし、検討メンバー内での議論では、事故後、燃料デブリの位置が不確定であることが廃止措置のプロセスを困難にさせるとの予想が示された。このため、燃料デブリを十分に取り出せなかった場合への備えが必要である。前節の (2) で挙げた対策工は、地盤工学的には実現可能性のあるものだと考えられる。一方で、



放射性物質周りの環境・状態を変えること、放射性物質そのものを動かすことがリスクを高めるとの懸念もある。そこから導かれた一つの案は、燃料デブリが極微量に残存しているかもしれない炉を安全に貯蔵することである。例えば、図 3-6 に示すように、炉の内部を高遮へい性充填材で充填し、漏水箇所を塞いだ上で、鋼製床盤や粘土系遮水工で核種移行の対策を講じる。さらに、盛土の構造により外的損傷から防護する。重要なことは、多重の防護対策により、高線量源のリスクと評価上の不確実性を低減することである。原子炉近傍の作業、施工、地下水モニタリング、鉛直遮水の耐久性、再取出しの作業性など検討すべき課題は多い。当然、燃料デブリが確実に取り出されるべく最善の努力をしなければいけないが、工法を選択肢を増やすことも有事の対応には必要であると考えられる。今後も福島第一原子力発電所の状況進捗に応じて前提と思考を更新し、議論を続ける必要がある。次年度は、個別研究課題の他に、本研究メンバーをまとめ役とした若手・学生のグループによる 1F で想定される各種条件を想定したケーススタディにより、若手・学生への現状技術の伝達とブレインストーミングを通じた若手・学生からの斬新なアイデアの発掘に努める。

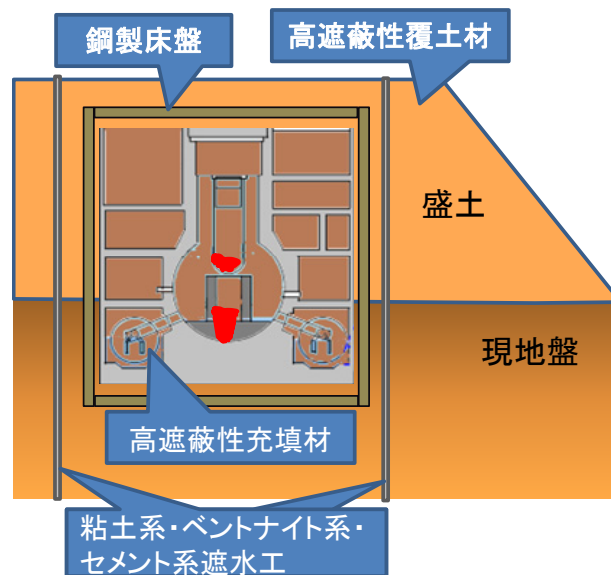


図 3-6 燃料デブリが極微量残された場合の貯蔵に関する代替工法の一案

### 3.1.4 まとめ

先の表 3-1、3-2、3-3 に示す研究体制を構築し、以下に示す研究内容の具体化を行った。すなわち、

#### ① 現状から廃止措置まで長期間の地下水環境の状況調査や将来予測

地質・地下水に係わる研究者・技術者によるワーキンググループを設置し、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討した。その結果、地下水・放射性物質の移行調査技術と地下水・放射性物質流動解析技術による広域な現況評価と将来予測、多重バリアを含む高信頼性の地下水流遮断技術、自己診断機能付き遮水材を活用した汚染水保管施設についての研究課題の重要性が明らかになった。

#### ② ボーリング技術や地下掘削技術を活用したデブリ取出し技術の成立性と効率性の検討

ボーリングや建設施工に係わる研究者・技術者によるワーキンググループを作り、当該テーマ

に関する技術レビューと研究課題について検討した。その結果、格納容器内に想定されるデブリの存在位置ごとに、シールドトンネルやボーリングの技術を活用したデブリを取出し方法の技術的成立性と技術開発課題を明確にした。

### ③ 放射性廃棄物地下埋設処分と原子炉建屋デコミッショニング

放射性廃棄物処分や構造物解体に詳しい研究者・技術者によるワーキンググループを設置し、当該テーマに関する技術レビューと研究課題について検討した。その結果、福島第一事故廃棄物である、汚染水処理に伴う二次廃棄物、放射性核種を帯びた瓦礫、伐採木、土壌等、そして燃料デブリや解体廃棄物に分類し、それぞれの性状に応じた一時仮置き施設と最終処分施設の概念設計の必要性と技術開発課題を明確にした。

### 参考文献

- (1) 小峯秀雄, 東畑郁生, 鈴木誠, 後藤茂, 高尾肇: 汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成の必要性, 第 11 回地盤工学会関東支部発表会 (CD-ROM) (2014 年 10 月)
- (2) 小峯秀雄: 汚染水対策・燃料デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と土木技術者育成の必要性, 化学工学会第 80 年会シンポジウム (2015 年 3 月)



### 3.2 各種地盤遮水材料の放射性遮へい性能調査（再委託先：早稲田大学）

#### 3.2.1 目的

地盤工学分野の教育において、今まで、放射線に関する基礎学習は実施してきていない。福島第一原子力発電所内の工事に従事している技術者には、地盤工学や土木工学を専門としている人が多くいる。当該発電所内での工事は、放射線被ばくの危険性が高いことから、大学などで基本的な学習をしてきていない地盤工学・土木工学の技術者は、にわかに独学で放射線に関する基礎学習を行い対応しているのが実際である。今後 40 年に亘る廃止措置に係わる地盤工学、土木工学分野の技術者は、最低限の放射線およびその遮へいメカニズムに関する基礎を、大学において学習することが必要不可欠である。一方、土質材料は放射線遮へいを有すると言われていたにもかかわらず、先述の通り、土質や地盤を専門としている技術者も、実際の放射線遮へい特性を実験的に調査した経験は、極めて少ない。そこで本調査では、各種地盤材料や土質系遮水材料の放射線遮へい特性を、実際に測定を行い、大学などでの学生実験委導入できる実験項目であることを確認する。さらには、前章に述べたデブリ取出しの補助技術や事故由来の放射性廃棄物からの放射線遮へいに、各種地盤材料、地盤遮水材料を活用するための基礎データの収集を目的とする。

#### 3.2.2 ベントナイト系重泥水と各種地盤材料の放射性遮へい性能実験の方法

重泥水放射線遮蔽実験に使用した重泥水は、比重 1.1、1.8、2.5 を目指して作製した。それぞれの比重に対しホウ素含有(8000ppm)、非含有の 2 パターン用意し、計 6 種類の重泥水を用いて実験を行った。使用した重泥水の基本データを表 3-6 に示した。表 3-6 の透水係数は圧密特性から算出した。

表 3-6 使用した重泥水の諸元

	ホウ素 (ppm)	比重	CF 値 (mm)	透水係数 (m/ s )
重泥水 1	非含有	2.57	342×334	$1.6 \times 10^{-10}$
重泥水 2	8,000	2.56	200×198	$2.0 \times 10^{-10}$
重泥水 3	非含有	1.79	384×379	$6.7 \times 10^{-11}$
重泥水 4	8,000	1.81	435×428	$1.1 \times 10^{-10}$
重泥水 5	非含有	1.13	355×355	$7.9 \times 10^{-11}$
重泥水 6	8,000	1.14	465×457	$8.1 \times 10^{-11}$

使用した重泥水の作製法の例として、重泥水 1 の作製法を以下に示す。

- 1) 容器に水道水(10L)を投入する。
- 2) 五ホウ素酸ナトリウム (8, 000ppm) を投入し 5 分間、攪拌する。
- 3) 分散剤であるピロリン酸四ナトリウム(無水) (20g) を投入し 2 分間、攪拌する。
- 4) ベントナイトであるスーパークレイ (700g) を投入し 2 分間、攪拌する。
- 5) バライト (40kg) を投入し 2 分間、攪拌する。

使用した土質系材料は、砂質土(東北珪砂 5 号)、シルト質土(DL クレー)、粘性土(クレイサ

ンド)の 3 種類である。これらの試料を用い覆土材を想定して供試体を作製した。砂質土は、自然含水比、含水比 10%、20%の 3 ケース、シルト質土と粘性土は、自然含水比、10%、30%の各 3 ケースで実験を行った。それぞれ、試料の質量と水の質量を調整しボールで練り混ぜてから、つき固めずにアクリル容器に充填し実験を行った。今回の実験の 9 つのケースを表-2 に示す。

表 3-7 使用した土質系材料と目標含水比

土質分類	試料名称	目標含水比 (%)
砂質土	東北珪砂 5 号	0
		10
		20
シルト質土	DL クレー	0
		10
		30
粘性土	クレイサンド	0
		10
		30

放射線透過線量の測定法は以下の通りである。

本研究で実施した放射性遮蔽実験の概要を図 3-7 に示す。おおよその実験手順は次の通りである。すなわち、

- 1) 図 3-7 に示すように、放射線源、空のアクリル容器（内寸法：縦 300 mm×横 300 mm×厚さ 100 mm）および放射線サーベイメータを設置した。
- 2) アクリル容器側面中央に放射線源を設置し、線源の反対側側面中央に後述のサーベイメータを設置した。線源部とサーベイメータの検出部中心の距離が 150 mm になるように設置した。
- 3) サーベイメータの測定値がほぼ安定したところで、放射線透過量を読み取り記録した。
- 4) その後、アクリル容器に、重泥水または土質材料を投入し、同様の配置にて、サーベイメータにより放射線透過量を測定した。

ガンマ線の測定には、日立アロカメディカル（株）製の TCS-172 を、中性子線の測定には、日立アロカメディカル（株）の TPS-451C を使用した。ガンマ線の線源に  $^{137}\text{Cs}$  を、中性子線の線源として  $^{252}\text{Cf}$  を用いた。実験を実施した時点ではそれぞれ、ガンマ線源が 2.07 (MBq)、中性子線源が 0.46 (MBq) であった。

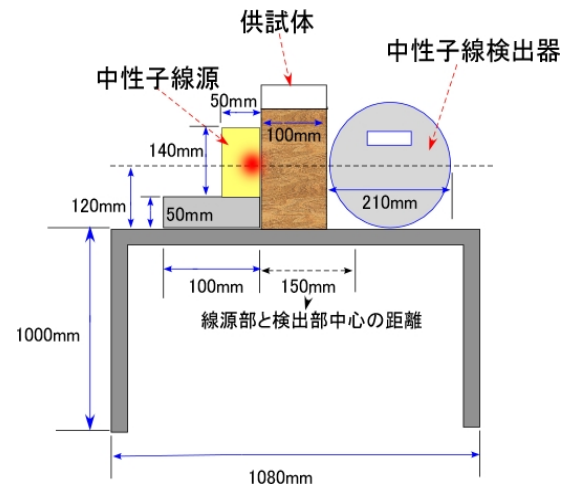
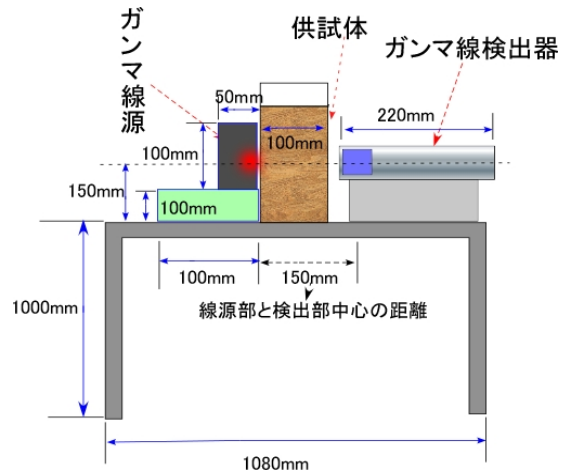
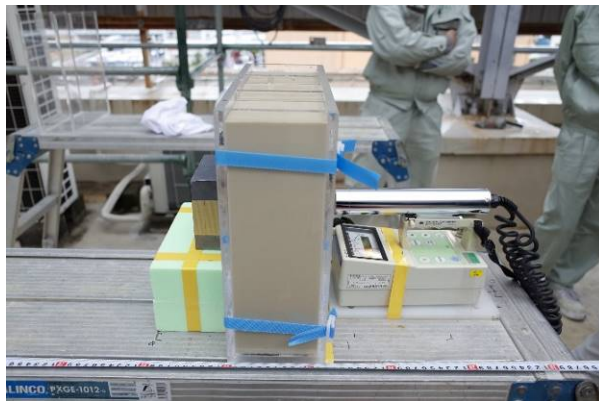


図 3-7 放射線遮蔽実験の様子（上：ガンマ線の遮蔽実験、下：中性子線の遮蔽実験）

### 3.2.3 ベントナイト系重泥水と各種地盤材料の放射性遮へい性能実験の成果

重泥水および水道水の放射線遮蔽実験で得られたデータを表3-8に示す。測定日のガンマ線量、中性子線量のバックグラウンド値は、それぞれ $0.05\mu\text{Sv/h}$ 、 $0.00\mu\text{Sv/h}$ であった。また、空の亚克力容器のガンマ線透過線量、中性子線透過線量を測定したところ、それぞれ $6.00\mu\text{Sv/h}$ 、 $13.36\mu\text{Sv/h}$ であった。放射能の値は、ガンマ線源が $2.07\text{MBq}$ で中性子線源の $0.46\text{MBq}$ の4倍であったが、放射線透過線量は中性子線がガンマ線の約2倍となった。これは、中性子線源とガンマ線源が同程度の放射能を有するとき、中性子線の線量がガンマ線の線量の約10倍となることが寄与している。

表 3-8 重泥水および水道水の放射線透過線量計測値

	比重	ホウ素の含有の有無	ガンマ線透過線量計測値 (μSv/h)	中性子線透過線量計測値 (μSv/h)
重泥水 1	2.57	非含有	1.55	4.56
重泥水 2	2.56	含有	1.64	4.54
重泥水 3	1.79	非含有	2.42	3.81
重泥水 4	1.81	含有	2.41	3.55
重泥水 5	1.13	非含有	3.54	3.24
重泥水 6	1.14	含有	3.61	3.00
水道水	1.00	非含有	4.06	2.94

ガンマ線透過線量と重泥水の比重の関係を図 3-8 に、中性子線透過線量と重泥水の比重の関係を図 3-9 に整理し示す。

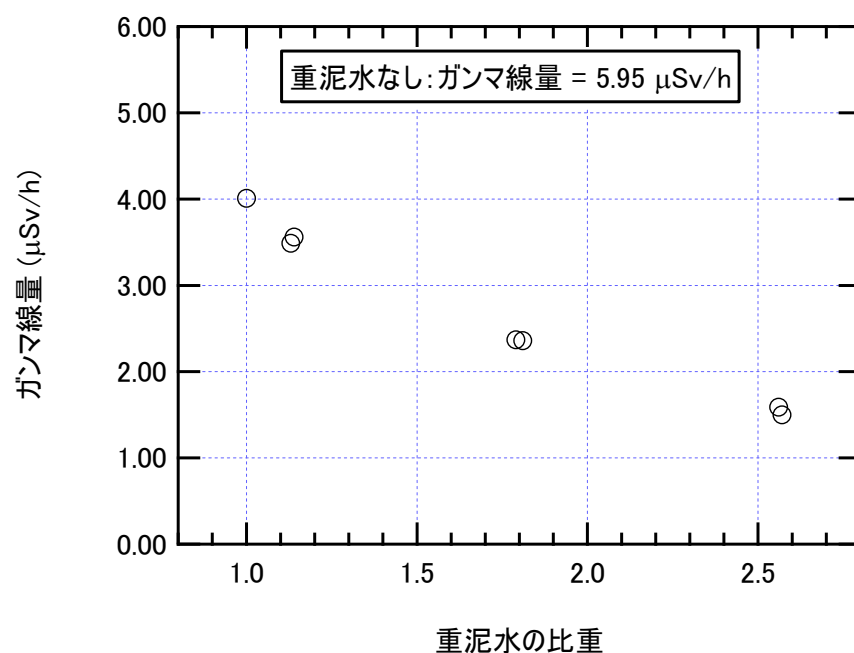


図 3-8 ガンマ線透過線量と重泥水の比重の関係

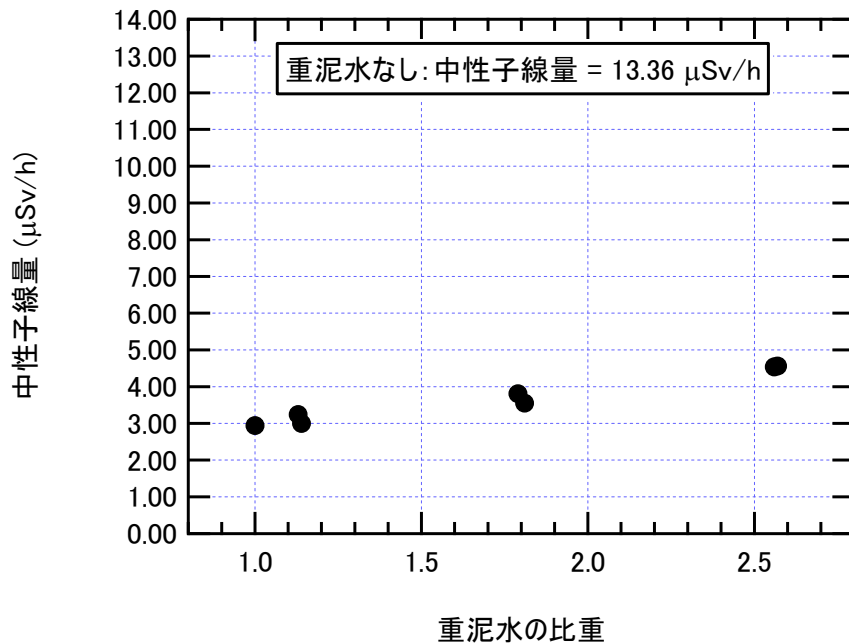


図 3-9 中性子線透過線量と重泥水の比重の関係

図3-8から、ガンマ線透過線量は、比重が高くなるにつれて減少していることが分かる。このことから、ガンマ線の遮蔽には重泥水の比重が寄与し、比重が高くなるに伴いガンマ線をより低減していることが分かる。図3-9から、中性子線透過線量は、比重が高くなるに伴い大きくなる傾向がある。重泥水は、水とベントナイトとバライトを配合したものであり、比重は配合量を変化させて調整する。具体的に、比重を高くするためには、水の配合量を少なく、バライトの配合量を多くする。よって、比重が大きくなるに従い重泥水の水分量は少なくなる。このことと中性子線透過線量の傾向から、中性子線の遮蔽には水分量が寄与していると考えられる。ホウ素の含有・非含有の違いでは有意義な差を、今回の実験では確認できなかった。なお、ホウ素による中性子線遮蔽には、その速度に依存することも考えられるので、今後、重泥水の層厚などの影響を調べる必要がある。

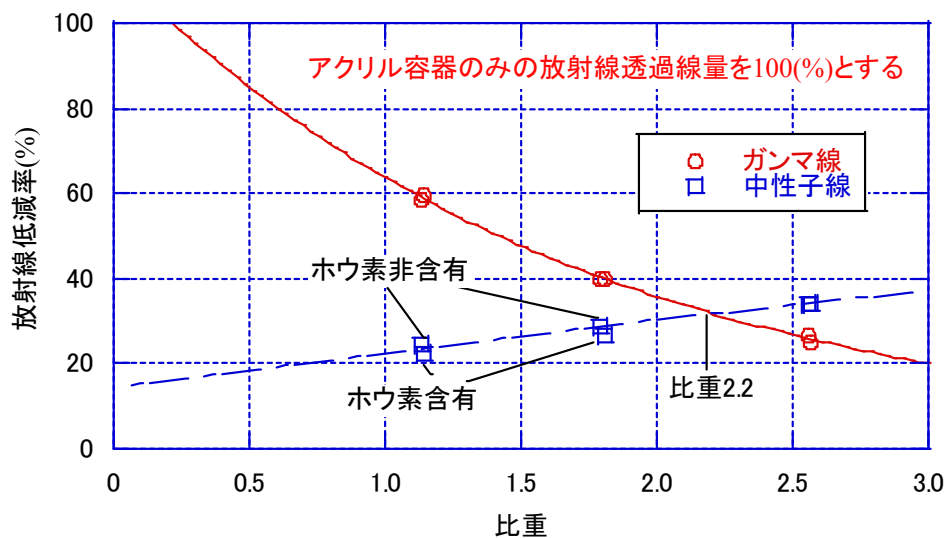


図3-10 各放射線低減率と重泥水の比重の関係

また、重泥水の放射線透過線量の低減率と比重の関係を図 3-10 にまとめた。低減率は、アクリル容器のみの放射線透過線量を 100%とした場合の放射線透過線量を表し、低減率が低いことは遮蔽効果が高いことを表す。図 3-10 から、比重が大きくなるに従いガンマ線低減率は減少し、中性子線低減率は増加している。今回の結果では、ガンマ線低減率の回帰曲線と中性子線低減率の回帰曲線の交点は比重 2.2 となった。実際には、現地の空間放射線状況に応じて適切な配合を行い、比重で管理することは十分可能と考えられる。

今回取得した重泥水の基礎データに基づき、図 3-11 に示すような重泥水の利用が考えられる。重泥水は、その配合を設計することにより、粘性を制御することも可能である。このことにより、現在、破損している原子力容器の止水が十分にできない場合にも、その漏水を最小限に抑えることができる。また、格納容器内の冠水水位も、通常の水と比べて高く維持することも可能である。さらには、燃料デブリ取り出し時のボーリングマシンの不具合があった場合の修繕などのときに、この重泥水の放射線遮蔽性能を有効に活用し、格納容器内への入講が比較的实施しやすくなると考えられる。格納容器内は、放射性物質で汚染されているが、この重泥水の固形成分である土粒子に吸着・収着されるものと考えられる。そのため、今後は、凝集・回収の可能性を調査する必要があるが、もしこれが可能であった場合、むしろ、格納容器内の洗浄技術へと発展する可能性を有している。

## 放射線遮蔽機能を有する高粘性泥水の利用イメージ

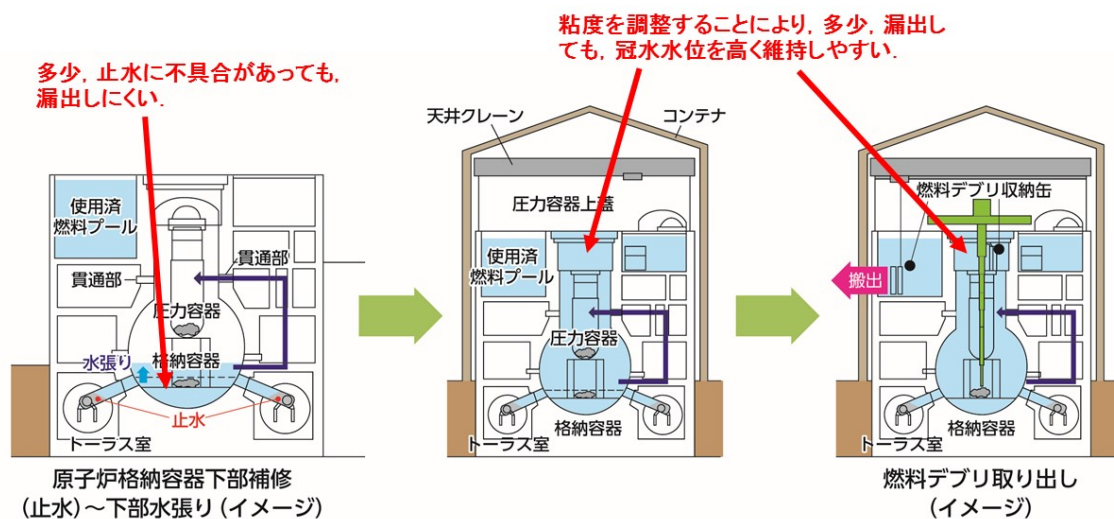


図 3-11 放射線遮蔽機能を有する重泥水の利用イメージ

次に、各種土質材料の放射線遮蔽実験について論じる。今回使用した土質系材料の諸元と放射線遮蔽実験の結果を表 3-9 に示す。この結果から一例として、ガンマ線透過線量と各種土質系材料の湿潤密度の関係を整理すると、図 3-12 のようになる。

表 3-9 今回取得した土質系材料の放射線遮蔽実験のデータ

土質分類	試料名	湿潤密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	含水比 (%)	乾燥密度 (Mg/m <sup>3</sup> )	飽和度 (%)	ガンマ線透過 線量(μSv/h)	中性子線透過 線量(μSv/h)
砂質土	東北珪砂 5 号	1.55	0.02	1.55	0.08	3.39	8.82
		1.42	5.57	1.42	17.4	3.36	8.44
		1.75	18.6	1.47	62.9	3.03	5.82
シルト質 土	DL クレー	1.26	0.10	1.26	0.25	3.62	9.40
		1.05	9.48	0.96	14.4	3.79	9.01
		1.84	30.1	1.41	92.6	2.83	4.67
粘性土	クレーサン ド	0.96	7.19	0.89	9.73	4.15	9.73
		1.26	16.3	1.09	30.6	3.64	7.50
		1.74	38.5	1.25	92.7	3.10	3.95

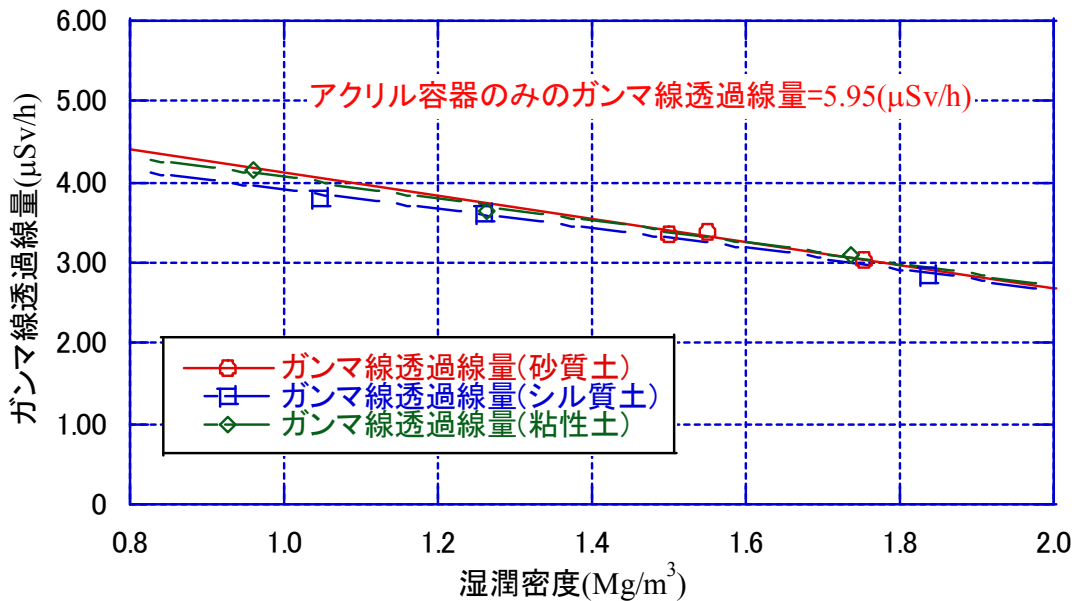


図3-12 各種土質材料のガンマ線透過線量と湿潤密度の関係

この図より、ガンマ線の遮蔽性能に関しては、土質分類による差異は小さく、湿潤密度との良い相関があることが分かる。土質系材料の厚さ10cmの条件において、土質系材料の種類に依存することなく、湿潤密度1.8Mg/m<sup>3</sup>以上でガンマ線を約50%以下に低減していることが分かる。表3-9のデータは、先に示した図3-4～3-6に示す覆土の放射線遮蔽性能の検討する上で有用なデータになる。

### 3.2.4 放射線遮蔽機能を有する粘土系グラウト材・重泥水の可能性調査と土木系学生に対する放射線遮蔽実験のカリキュラム内容の可能性

本節で述べた内容は、再委託先の早稲田大学において、燃料デブリ取出しにおいて活用の可能性のある放射線遮蔽機能を持つグラウト材、重泥水開発の予備調査を、2014年11月30日～12月3日の期間で行った結果である。具体的には、先述の図3-7に示したように、ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社の施設を使用して、放射線遮蔽実験の手順の習得も目的として実施した。また、重泥水の他にも、一般的な地盤を想定して、砂、シルト、粘土を主体とする土質材料についても放射線遮蔽実験を行った。

本実験を通じて、再臨界を抑制できる中性子毒のホウ素を含んだ重泥水の試作およびこれらを含むベントナイトや土質系材料の放射線遮蔽特性に関する基礎データの取得を行うとともに、これらの有する放射線遮蔽の可能性および有効性について確認した。重泥水は、ガンマ線の遮蔽に有効な比較的高い比重を持つとともに、中性子線の吸収に効果的な水に加えホウ素を混入することもできることから、ガンマ線および中性子線の遮蔽に効果的であると考えられる。また、土木系学生が廃止措置等へ従事する際の基礎的な学習項目として、放射線遮蔽実験が有効であることも確認できた。

#### 参考文献

- (1) 小峯秀雄、東畑郁生、鈴木誠、後藤茂、高尾肇：汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成の必要性、第11回地盤工学会関東支部発表会（CD-ROM）（2014年10月）
- (2) 小峯秀雄：汚染水対策・燃料デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と土木技術者育成の必要性、化学工学会第80年会シンポジウム（2015年3月）



### 3.3 「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術」教育プログラムの試作

#### 3.3.1 廃炉地盤工学の創出

廃炉地盤工学とは原子力発電所の廃止処置において現状および将来的に活用される地盤工学的技術を体系化することにより、技術の合目的性を高めることや高度化を促進することを主目的とした学問体系である。この廃炉地盤工学を教育の軸の一つとすることにより原子力発電所廃止処置技術の教育を整備・拡充することを試みる。

#### 3.3.2 廃炉地盤工学の研究対象

廃炉地盤工学では廃止処置の行われる原子力発電所を対象とする。また、廃止処置実施のための原子力発電所周辺環境の維持向上も対象とするとともに、廃止処置で発生する建設廃棄物を含む各種放射線汚染物も対象とする。また、2011年東北地方太平洋沖地震に起因する事故を受けた福島第一発電所を主な対象とするが、使用期限から廃止の決まった通常の原子力発電所も対象とする。

#### 3.3.3 廃炉地盤工学における評価軸

廃炉地盤工学で取り扱う技術は次に述べる評価軸によって技術の高度化を評価する。

- A) 作業空間改善のための空間放射線量の低減。
- B) 周辺環境防護のための放射能汚染物質の拡散防止。
- C) 廃止処置に要する他分野技術の活用の容易化

#### 3.3.4 廃炉地盤工学の単元と内容

廃炉地盤工学は単元として①地盤力学、②地盤環境学、③地盤材料学、④地盤施工学からなる。各単元の内容を以下に記す。

##### ① 地盤力学

地盤支持力の評価、土構造物や地下空間の安定性を検討評価し、現状が不十分な場合は目標とする数値の明確化を行う。原子力発電所廃止処置においては廃止処置の進行段階とともに変化する発電所本体の耐震安定性の評価、各種汚染物や使用済み核燃料の処理・処分施設に用いられる土構造物や地下空間の安定性を評価する。

単元を構成するものとしては伝統的な地盤力学に関する講義、振動実験を含む模型地盤実験や力学的数値解析等である。

##### ② 地盤環境学

地盤の地下水流動や地盤内空間（地下空間、トンネル）の環境評価をおこなう。原子力発電所廃止処置においては廃止処置の進行や年月の経過に伴い変化していく地下水の流動状況の評価・予測をおこなう。また、放射性廃棄物の処分等のために構築されるトンネルや事故原子力発電所のデブリ取出し作業への活用の可能性が考えられる地下作業空間の環境評価（空間放射線）もこれに含まれる。

単元を構成するものとしては地下水流動に関する講義、地下水流動の計測・評価・予測技術実

習、各種地盤材料の空間放射線の遮蔽計測実験等である。

### ③ 地盤材料学

地盤系材料であるボーリング補助液、止水材、グラウト材、覆土材料等について新材料の創出を視野に入れて現行技術のレベルアップをおこなう。原子力発電所廃止処置ではデブリボーリング時の飛散防止材や作業環境改善のために格納容器に満たす水に変わるもの（空間放射線量低減、格納容器水漏れ対応）等が対象となる。また、低レベルの汚染物質や汚染水の間保管施設に用いられる止水材や覆土材料も対象となる。評価は $\gamma$ 線や中性子線の遮蔽能力や水漏れ箇所の閉鎖能力であるが、現状でも検討を進めている比重が 2.5 もある重泥水はガンマ線、中性子線の遮蔽能力が高く有力な候補となりうる。また、重泥水に固化性能を付加した新種の流動化処理土は格納容器水漏れ部分の閉塞への活用が期待できる。さらに、高吸水性ポリマー等を活用して液性状態と塑性状態を自由に移相できる充填材料の開発なども試行する。一方、圧力容器や格納容器の原位置埋設処分の可能性を考えて、それらへの充填材料として低レベルの汚染土壌の活用も検討する。

単元を構成するものとしては、地盤系材料としての使用の観点からの土壌化学や土壌物理学の講義、材料の配合実験、材料性能の評価技術実習、材料を用いた施工実験などである。

### ④ 地盤施工学

地盤の掘削、埋め戻し、盛り立て、固化物の地盤・空隙への注入、更には地盤内への壁や空間の構築などの方法（工法）について「施工」という観点から体系化し、特殊空間である原子力発電所での活用を目指すためのレベルアップをおこなう。地盤工学的工法は使用材料および使用機械の選択から仮設および本設の方法に至るまで多くの要素から成立しており、与えられた目的と環境の下で最適な答えを求めることが日常的におこなわれている。従って、同様な目的に用いられる場合でも環境が異なれば優劣の順序も異なり、結果として用いられる工法そのものが変わってくる。稼動した後の原子力発電所は施工空間として特殊な環境であるが、更に事故を起こした福島第一発電所は高い放射線量を筆頭に従来の施工では経験のない極めて特殊な空間になっている。そのような特殊な空間に対応しうる材料・施工機械の選択や物資の運搬や建設副産物（廃土・廃材等）の減少まで考慮に入れた施工方法の研究をおこなうとともに、施工計画の作成能力と実施能力を高めるための教育をおこなう。

単元を構成するものとしては、数値計画論、出来形・出来高管理技術等の土木系計画論の講義、施工計画で用いるバーチャルシミュレーション技術の実習と開発、現地での施工経験などであり、これらは実際に工事を行っている企業へのインターンシップを含めて実施する。

表 3-10 に廃止処置への各段階と廃炉地盤工学で活用を促進する地盤系技術の関係を示す。

表 3-10 廃止措置へのプロセスで廃炉地盤工学が貢献できる技術

	汚染水・ 地下水環境	デブリ取出し	デコミッショニング
地盤 力学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留施設の安定性評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器に地下からアプローチするための地下基地の安定性</li> <li>基礎コンクリート切削時の安定性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニングの段階に沿った地盤・建屋系の安定性評価</li> <li>原位置デコミッショニングでの被覆盛土の安定性</li> </ul>
地盤 環境学	<ul style="list-style-type: none"> <li>原子力建屋周囲の時間的変化に対応した地下水・核種拡散シミュレーション</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記アプローチ用地下基地の放射線環境評価</li> <li>基礎コンクリート切削時の汚染拡大</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デコミッショニング段階に沿った建屋周囲の地下水環境・放射線環境予測と評価</li> <li>余裕深度処分に対応した地下水環境評価</li> </ul>
地盤 材料学	<ul style="list-style-type: none"> <li>汚染水貯留プールに適用可能な高性能止水材料</li> <li>遮水壁の信頼性を高める高性能遮水壁材料</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取出し時の空間放射線量を低減する高遮蔽性重泥水</li> <li>格納容器の水漏れ箇所対応可能で空間放射線量低減できる高遮蔽性流動化処理土</li> <li>デブリの一時的封じ込め対応可能な可逆的液性・塑性（高遮蔽性）充填材</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>瓦礫・伐採材保管に適した高遮蔽性覆土材料と止水材料</li> <li>余裕深度処分に対応した廃棄物空間充填材料</li> <li>原位置デコミッショニングに対応できる格納容器用高遮蔽性充填材料</li> <li>原位置デコミッショニングで建屋全体を覆う高遮蔽性盛土材料</li> </ul>
地盤 施工学	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の流入を止める信頼性の高い遮水壁構築</li> <li>汚染水プールに敷設する自己診断機能付き遮水幕工事</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デブリ取出しのための高精度ボーリング制御</li> <li>上記アプローチ用地下基地構築</li> <li>格納容器水漏れ箇所封鎖のための高遮蔽性グラウチング</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>信頼性の高い瓦礫・伐採材の保管施設構築</li> <li>余裕深度施設の構築</li> <li>原位置デコミッショニングでの格納容器用高遮蔽性充填方法</li> <li>同上での建屋全体の鋼製部材による封じ込めと盛土技術</li> </ul>

また、研究メンバーでの会合の中で、地盤工学的知識だけでなく、原子力関係の基礎知識も廃炉関係の知識伝承が必要なことも指摘された。これは地盤工学関係の若手・学生が原子力分野に不案内なことより、原子力発電所廃止処置に必要な基礎知識を体系的に理解させるためのカリキュラムの必要性である。提示されたカリキュラム内容の例としては「原子力での安全確保に対する考え方」、「性能評価手法の概要」、「放射性廃棄物処分場の概要(HLW、TRU、LLW)」、「国内外のデコミ状況・技術の概要(研究中含)」などを想定した。

地盤工学分野の学生に原子力関係の基礎知識を養わせ、同時に、原子力分野の学生にも地盤工学分野の基礎知識を補ってもらうことにより、原子力土木の人材育成が一層強化されるものと思われる。既に、各大学にはインターンシップ制度が存在する。学部生や大学院生を対象に、数週間から数カ月の期間、民間企業や研究所等において実務的学習を行うものである。この制度を活用し、原子力分野と地盤工学分野の交流を活性化させる案を図 3-13 に構想として示す。例えば、学会内部に学術員(仮称)や専門事務員などのインターンシップ窓口となる役職を設け、自他ともに関連大学から学生を受け入れ、集約し、他分野に学生を派遣する。学習を終えた学生には成果報告を依頼し、窓口にて成果を集約する。学生の目線で感じたことを、場合によっては建設会社やコンサルタントが既に総合的に取り組んでいることを目の当たりにする感想も出てくると予想はされるが、相手分野の実態として見解を蓄積し共有する仕組みとする。その成果は、報告会や座談会の形式で公表し、それをベースにさらなる机上学習や人脈形成、そして、情報交換が行われるとよい。インターンシップ制度は、学生の積極性のみならず教員が企業や研究所とコネクションを有することにより成立するものと思われる。その結果、教員の限られた人脈で学生を派遣することが実態としてあることは否定できない。その点においても、学会がインターンシップの窓口となることは、教員にとってもアドバンテージとなる。次世代を担う学生を中心に教員や企業が分野を超えて連携することが叶えば、人材育成は持続的な体制となる。

原子力～地盤工学部門間の連携構想(案1:人材育成関連)

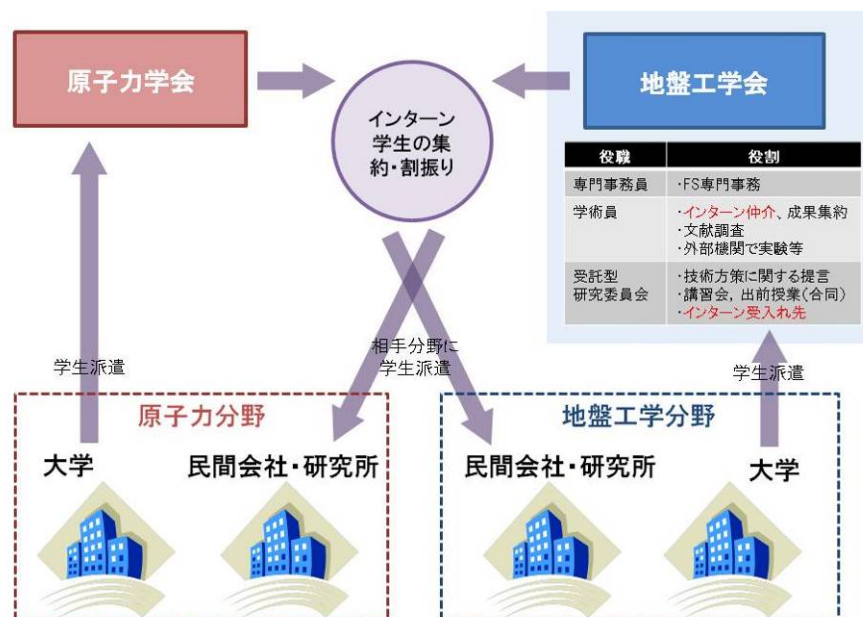


図 3-13 インターンシップ制度を活用した分野間交流の構想

## 参考文献

- (1) 小峯秀雄：汚染水対策・燃料デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と土木技術者育成の必要性, 化学工学会第 80 年会シンポジウム (2015 年 3 月)

#### 4. 結言

本研究では、2014年6月現在、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(原子力災害対策本部 東京電力福島第一原子力発電所廃炉対策推進会議 平成25年6月27日)を踏まえて、地盤・地下水調査、建設施工、モニタリング、処分技術の専門家が一堂に参集する地盤工学会が主体となり、福島第一原子力発電所からの燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発において基礎となる基盤研究の選定と予備検討、研究体制の構築、また最終的な研究のゴールである人材育成に関するプログラムのプロトタイプ構築を行った。

技術開発の基礎となる基盤研究としては、燃料デブリ取出しから廃止措置までの期間、作業空間の安全性確保を今後40年間、維持しなければならないことから、「①高度かつ緻密な地下水調査・地下水流動解析技術による広域な現況評価と将来予測」、地盤工学において多数の実績を有するボーリング技術を含む地下掘削技術を燃料デブリ取出し技術に応用する観点から「②遠隔操作によりトンネル掘削が可能なシールド・TBM(トンネル・ボーリング・マシン)技術を活用したデブリ取り出し技術と高空間放射線量環境での作業改善のための地下基地建設技術の開発」、さらに燃料デブリ取出し後に引き続き実施される原子炉建屋の解体に伴い発生する放射性廃棄物の処分などを具体的に実施するための「③放射性廃棄物処分が開発してきた地盤工学技術を活用したデブリの処分方法と原子炉建屋デコミッションング技術の開発」を挙げた。

また、研究実施体制の構築と教育プログラムの具体化については、地盤工学会「福島第一原子力発電所汚染水問題に関する会長特別懇談会」を起点に、地盤工学会の最大の特長である「産官学」からの会員メンバーから構成される研究体制を整え、燃料デブリ取出しから廃止措置までに求められる技術の開発項目の具体化を行った。さらには原子力工学分野と地盤工学との融合教育の観点から、これらの土質系遮水材料等の放射線遮へい性能についての予備調査(早稲田大学再委託研究)および「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術」教育プログラムの具体的な試案を提示した。

これらの研究成果を通じて、今回構築した研究体制をもとに、①地盤・地下水環境の現況調査と将来予測、②燃料デブリの取出し施工技術、③廃棄物処分とデコミッションングの3つのワーキンググループを構築し、各テーマに対するより詳細な人材育成のための教育内容と具体的な研究・技術開発課題の抽出を進めることの必要性を明確にした。また、再委託先の早稲田大学などで、放射線遮蔽実験の土木系学生に対するカリキュラム化および放射線遮蔽性能を有するグラウト材、重泥水の予備調査を足掛かりに、中長期ロードマップの内容を精査しながら、考えられる技術課題の抽出と詳細な検討の開始の必要性も明らかになった。さらに、講義「地盤工学の英知を結集した福島第一原子力発電所廃止措置技術(仮題)」のカリキュラムの内容を明確化するとともに、2015年度に行う第50回地盤工学研究発表会(開催場所:北海道)において「汚染水対策・デブリ取出しから廃炉までを想定した地盤工学的新技术開発と人材育成プログラムの必要性」と題した特別セッションを公開し、今後の本研究の進むべき方向性について、地盤工学の観点から展開されるべき研究内容や原子力技術者と協働できる新しい地盤技術者の育成方針についての議論の必要性も明確にした。