

第I部

原子燃料サイクルバックエンド研究の全貌

第 1 章

1

原子燃料サイクルバックエンド
研究への取り組みについて

第1章 原子燃料サイクルバックエンド研究への取り組みについて 目次

我孫子研究所 研究参事 駒田 広也
 我孫子研究所高レベル・TRU廃棄物処分技術課題推進担当 河西 基
 企画部原子力推進担当 部長 横山 速一
 我孫子研究所リサイクル燃料貯蔵技術課題推進担当 三枝 利有
 我孫子研究所構造部 上席研究員 伊藤 千浩

1 - 1 原子燃料サイクルバックエンドをめぐるわが国の動向9
 1 - 2 電中研における研究の概要11



駒田 広也（1970年入所）
 ダム基礎岩盤および水力地下発電所空洞の調査設計などの研究に15年間従事した後、日米共同の使用済燃料貯蔵構想プロジェクト研究に参加。その後、低レベル、高レベル、TRU等の放射性廃棄物処分に係わる研究に従事している。特に、この数年間、高レベル放射性廃棄物地層処分の事業化のための研究開発に取り組んでいる。



河西 基（1979年入所）
 放射性廃棄物処分問題解決のため地下水環境面より、地盤中の水と物質の移動現象や安全評価手法の研究に主として取り組んできた。国際共同試験研究のためドイツに1年余り出張し、帰国後2年間ほど日本原燃産業に出向し、低レベル廃棄物処分施設の事業許可申請等にも直接関与することができた。今後も放射性廃棄物処分が人間社会の信頼感をもって共生できる技術の確立を目指していきたい。



横山 速一（1976年入所）
 入所以来、種々の放射性廃棄物固化体の浸出性に関する研究を実施。また、使用済燃料貯蔵、ピューレックス再処理を含め原燃サイクル全般の研究に関与。この間、スツツヴィック研究所へ長期出張、日本原燃（当時、原燃サービス）に出向。



三枝 利有（1983年入所）
 使用済燃料貯蔵技術の確証試験、原子燃料等の輸送物の安全性実証試験、等のプロジェクト研究を推進・取りまとめた。最近、放射性廃棄物処分も含めたバックエンド全体の研究推進を手がけたことから、本レビューのとりまとめを担当した。国際原子力機関（IAEA）やASME（米国機械学会）での国際的活動も、電中研の研究に反映している。



伊藤 千浩（1982年入所）
 放射性物質輸送容器の落下衝撃に対する健全性評価、航空機等の飛来物に対する鉄筋コンクリートの耐衝撃性評価研究などに従事。一方、使用済燃料貯蔵技術については、実物大の金属キャスクを用いた落下衝撃試験、貯蔵施設の概念設計検討や経済性評価などを担当。

の実施主体設立に向けた準備を行ってきた。1997年には、原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会が処分事業資金の確保、実施主体のあり方、諸制度整備の必要性等を示した。また、技術面から1999年には、核燃料サイクル開発機構が「わが国における地層処分の技術的信頼性」を示す2000年レポートを取りまとめ、今後の処分地選定、処分場建設、および技術開発の技術的拠り所となっている。

これらの成果を受けて、2000年10月には処分の実施主体「原子力発電環境整備機構」が設立され、処分候補地の具体的な選定作業に入るとともに、処分施設の信頼性の向上など残された課題を解決していくことになる。

(2) TRU 放射性廃棄物の処分

TRU核種を含む放射性廃棄物は再処理工場やMOX燃料加工工場で発生する。TRU廃棄物はその種類や形状が多様であり、かつ、含有される放射性核種の濃度の幅が比較的広範囲に及ぶことから、個々の廃棄物の特徴を考慮した合理的な処分方策を図る必要がある。

廃棄物に含まれる全アルファ核種の濃度が一応の区分目安値(約1ギガベクレル/トン)を超え、浅地中処分以外の地下埋設処分が適切と考えられる廃棄物については、高レベル放射性廃棄物の処分方策との整合性を図りつつ、技術的検討を進めてきた。2000年に、電気事業者等と核燃料サイクル開発機構との共同で、TRU廃棄物処分概念検討書をまとめた。これによりTRU廃棄物の具体的な処分概念とその安全性の見通しが得られた。

今後、関係各機関が協力して研究開発を進め、TRU廃棄物処分に関する実施体制および安全規制の整備を行なっていくことになる。一方、比較的濃度の低い廃棄物に対しては現行の浅地中処分を想定している。

(3) 低レベル放射性廃棄物の処分

日本原燃(株)六ヶ所村低レベル廃棄物埋設センターでは、原子力発電所の操業時に発生する低レベル均質固化体が1992年より1号埋設施設に順調に埋設されている。次に、1号埋設と平行して、金属・保温材等をセメント固化した非均質雑固化体廃棄物を対象とした2号

埋設施設への増設が2000年から開始された。実際の受け入れは2000年の予定である。更に、3号以降の埋設施設の計画を進めているところである。

発電所から発生する低レベル放射性廃棄物のうち、現行の政令濃度上限値を超える廃棄物(炉内構造物、使用済み制御棒等)については、原子力委員会バックエンド対策専門部会でその処分方策の検討が行われた。この処分方策の基本的考えは、処分施設を地表から50～100m程度の深さに設置することにより、政令濃度上限値以下の低レベル放射性廃棄物と同様に、段階的管理に依存した管理型処分が適用可能としている。

一方、低レベル放射性廃棄物のうち放射能レベルが低く、放射性物質として特殊性を考慮する必要のないレベルすなわちクリアランスレベルが導入され、原子力安全委員会放射性廃棄物安全基準専門部会は主要核種のクリアランスレベルの基準値を設定した。このレベルが制度化されれば、軽水炉の廃止解体から出される廃棄物の90%以上が放射性廃棄物として扱う必要がなくなる。再利用可能なものは資源として再利用が図られ、廃棄されるものは放射線防護を考慮することなく、通常の産業廃棄物と同様に廃棄する道が開かれたことになる。

(4) ウラン廃棄物の処分

ウラン濃縮工場、燃料成型加工工場等から発生するウラン廃棄物は、現在、各事業所に貯蔵されている。今後2030年度末には全施設で200リットルドラム缶換算で約27万本に達すると推定されている。ウラン濃度の比較的低い大部分の廃棄物は、簡易な方法による浅地中処分を行うことが可能と考えられ、今後具体的な方法の検討を行ない、基準の整備等を行っていくことになっている。また、平行して、今後の処分実施スケジュール、実施体制等の検討を進めているところである。

1-1-2 原子炉の廃止措置

わが国における最初の商業炉である日本原子力発電・東海発電所が1998年3月に最終的な運転を停止し、廃止措置の段階に移行した。今後、使用済み燃料の取り出し、具体的な廃止措置のためのデータ等を取得し

て、2010年頃から解体が行われる予定である。解体ならびにそれに伴って発生する廃棄物の処分を安全で合理的に実施するために必要な技術開発、法制度等が進められているところである。

1-1-3 放射性物質の輸送

わが国で使用される原子燃料は、そのほとんどが海外から船舶で輸送され、港からトレーラによって再転換工場などへ陸上輸送されている。また、国内の原子力発電所から出る使用済燃料は国内外の再処理工場に専用運搬船により海上輸送されている。

海外での再処理により回収されたプルトニウムについては、基本的には海外でMOX燃料に加工し、わが国に海上輸送されている。また、再処理で発生する高レベル放射性廃棄物のわが国への返還も英国の専用船で行われている。

これら放射性物質の輸送においては、一般の輸送とは異なる高度な安全対策と、円滑、確実な輸送体制を整えておく必要がある。陸上・海上等の輸送モードにより、安全輸送規則が細かく定められている。国際的にもIAEAが輸送規則を勧告し、多国間の輸送が円滑に行われるようにしている。

しかしながら、輸送の沿道、沿岸の住民、一般公衆から、輸送に対する反対もあり、今後も輸送の更なる安全性、信頼性の向上を図っていく必要がある。

1-1-4 リサイクル燃料資源貯蔵

わが国では、原子力発電所の運転に伴い発生する使

用済燃料は、再処理して、リサイクル燃料として使用することになっている。現在、使用済燃料は各発電所敷地内に一時的に貯蔵した後、再処理工場に移されることになっている。しかし、今後の使用済燃料の発生量は再処理能力を上回るようになるため、全国の発電所の中には、2010年頃から、その貯蔵能力の限界に達するものも出てくると予想されている。

この課題に対して、通産省総合エネルギー調査部会は、1998年、使用済燃料はリサイクルできる貴重なエネルギー資源として「リサイクル燃料資源」と呼ぶにふさわしい貯蔵・管理の必要性を強調して、使用済燃料の中間貯蔵事業のあり方をまとめた。

報告書では、従来からの発電所内での貯蔵に加え、発電所外において使用済燃料を中間的に貯蔵することを目的とした施設を2010年までに確実に操業開始できるよう、直ちに必要な制度、立地点の確保等に取り組むことが必要であることを示している。

使用済燃料の貯蔵方法には、現在、わが国の原子力発電所で実績を重ねている「プール貯蔵」、「金属キャスク貯蔵」に加え、海外で実績のある「コンクリートキャスク貯蔵」、「ボルト貯蔵」、「サイロ貯蔵」がある。その経済性については、わが国で実績のあるプール貯蔵と金属キャスク貯蔵を比べると、施設の維持・管理、施設の増設などの面から金属キャスク貯蔵方式が有利とされている。さらに、コンクリートキャスク貯蔵、ボルト貯蔵、サイロ貯蔵も海外での十分な実績もあり、前出2方式に比べてコスト面で有利な可能性が十分にあり、現在、これら貯蔵方式の安全性、合理性などについて、関係機関で研究開発を進めているところである。

1 - 2 電中研における研究の概要

1-2-1 放射性廃棄物処理・処分技術

最近の研究展開を図1-2-1に示す。

(1) 高レベル放射性廃棄物処分技術

2000年には高レベル廃棄物処分の枠組みを定める法律が制定され、処分実施主体「原子力発電環境整備機構」が設立された。2030年代～2040年代半ばまでの処分開始を目指した処分事業が、いよいよ本格的に展開される状況である。

当所では、電気事業の立場より、地質・地下水環境

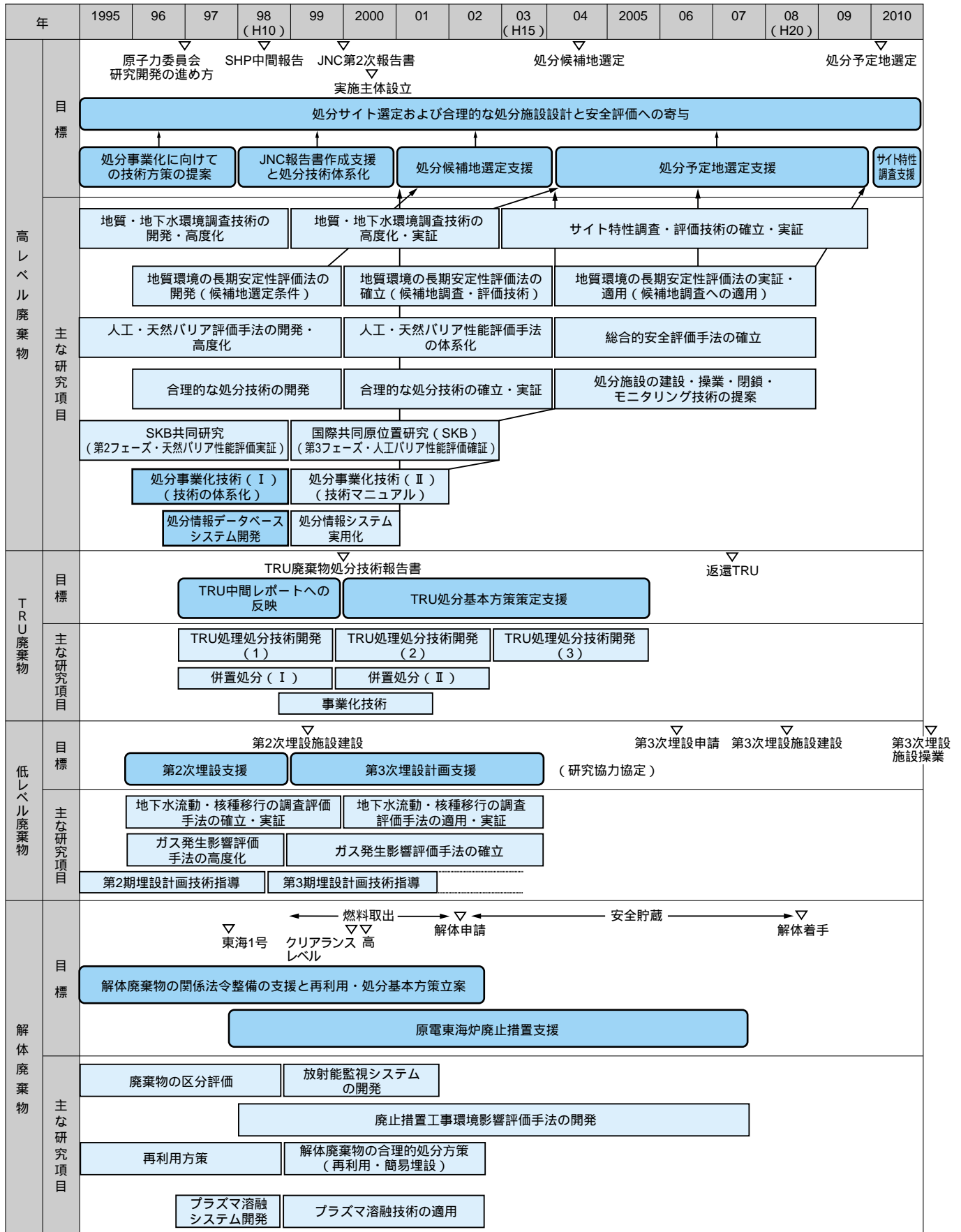


図1-2-1 「放射性廃棄物の処理・処分技術」の研究展開

の調査・評価技術、人工・天然バリア性能評価手法/安全評価手法、合理的な処分施設の設計・施工技術などに関する研究開発を進めるとともに、電気事業との共同により処分事業化に必要な技術を体系化した技術報告書を取りまとめた。これらの研究成果は、核燃料サイクル開発機構による高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発第2次取りまとめや、国による処分施策の立案等に反映されている。

今後、当所としては、電力が中心となって設立される処分実施主体(原子力発電環境整備機構)が進める処分の事業の推進とともに国による基準・指針類の整備等にも積極的に協力してゆく。特に、サイト選定の円滑な実施および合理的な処分技術の確立に必要な次のような研究を展開してゆく。

- ① サイト選定に向けた地質地下水環境調査・評価技術の確立と実証
- ② バリア性能評価手法・安全評価手法の体系化・実証
- ③ 合理的な処分技術の確立・実証
- ④ 事業化に必要な技術指針類の提案

(2) TRU 廃棄物処分技術

2000年代初頭に海外再処理による TRU 廃棄物が返還される予定である。当所では、人工バリア性能評価手法の確立に向けた研究開発を進めるとともに、電力・サイクル機構に協力して、わが国における TRU 処分の成立性および処分施設の概念を示す技術報告書を取りまとめた。

また、特に融点の高いハル・エンドピースの溶融固化に有効なプラズマ溶融法を開発し、TRU 核種を含む放射性廃棄物の減容・固化処理に適用できる見通しを得た。

今後、当所としては、TRU 特有の技術的課題にしぼって、特に次のような研究を展開してゆく。

- ① セメント/ベントナイトの人工バリア材料に係わる核種移行の長期挙動モデル化
- ② 高レベル廃棄物との併置処分方式
- ③ 処分時の総合的安全評価手法

(3) 低レベル放射性廃棄物処分技術

日本原燃(株)による第1号埋設施設(均一固化体を対象)

が1992年に操業を開始し、また第2号埋設施設(雑固体廃棄物を対象)も1998年には着工し、2000年度より操業を開始した。さらに、2015年頃の操業開始をめざして第3号埋設計画(放射能濃度がやや高い低レベル廃棄物も対象となる見込み)の調査検討も進められている。当所では、1992年に日本原燃(当時の日本原燃産業)と研究協力協定を締結し、六ヶ所村の第1号埋設計画の当初から低レベル廃棄物の処理・処分技術に関する技術面での協力と研究開発に積極的に取り組んできている。特に、固化体処理技術、地質・地下水の調査・評価技術、および処分施設の耐久性評価手法や安全評価手法の開発を行うとともに、処分施設形態などの提案を行い、低レベル廃棄物処分事業の推進に反映させてきた。

今後、当所としては、第3号埋設計画の円滑な推進を支援するため、特に次のような研究を展開してゆく。

- ① 地質・地質構造および地下水環境の詳細調査と評価
- ② 合理的な処分概念と処分技術の確立

(4) 解体廃棄物処理・処分・再利用技術

2010年頃を目途に、わが国初めての商業用原子力発電所の廃止措置・解体撤去が実施される。この廃止措置・解体撤去にともなう環境影響評価技術と解体廃棄物の合理的な処理・処分・再利用方策の確立に向けて、国および電気事業に協力して研究開発を実施している。

今後とも、当所としては、次のような研究を展開する。

- ① 廃止措置工事に伴う粉塵等による環境への影響評価
- ② 解体コンクリート等の再利用技術の確立
- ③ 解体廃棄物のプラズマ溶融処理技術の開発

1-2-2 使用済燃料等の輸送・貯蔵技術

最近の研究展開を図1-2-2に示す。

(1) 原子燃料等の輸送技術

昭和53年度より、使用済燃料輸送容器信頼性実証試験を実施して以来、当所は日本における輸送研究をリードし、原子燃料サイクルを結ぶ主要な輸送物の安全性実証試験を通して、国内外の輸送技術の発展に貢献

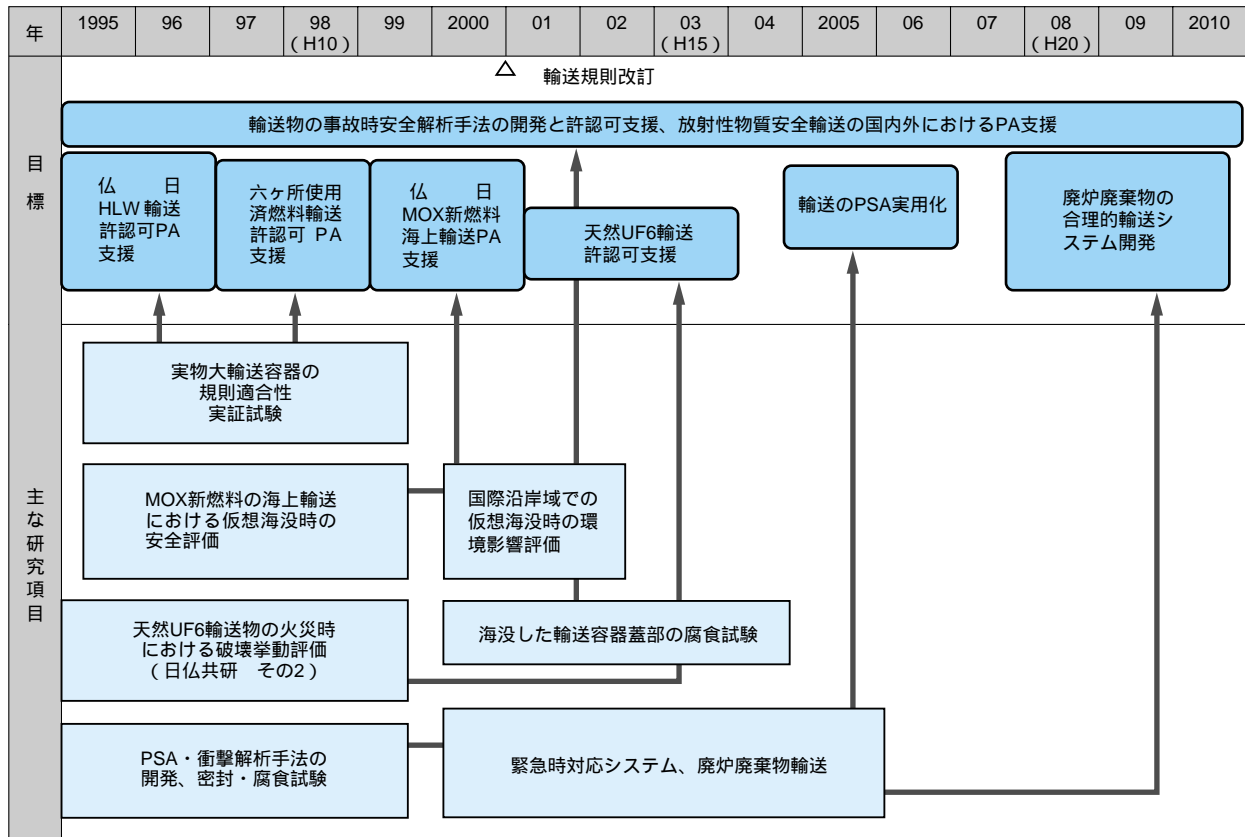


図1-2-2(1/2) 「原子燃料等の輸送技術」の研究展開

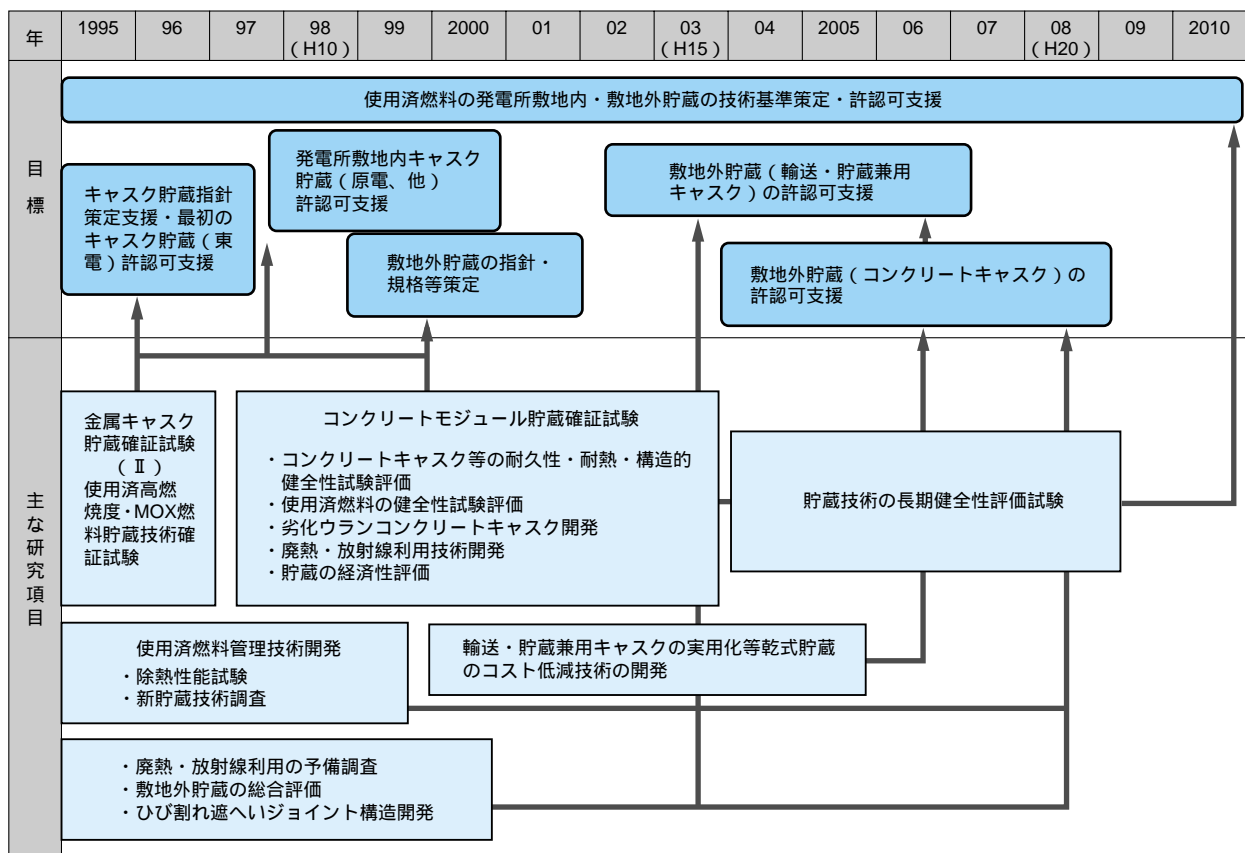


図1-2-2(2/2) 「使用済燃料貯蔵技術」の研究展開

してきた。当研究所で実施したキャスク実証試験等の実績を表1-2-1に示す。

最近の主な成果の概要は以下のとおりである。

① 高燃焼度使用済燃料輸送容器の安全性実証試験

六ヶ所村への初めての使用済燃料輸送に使われる高燃焼度使用済燃料輸送容器の輸送規則適合性実証試験を行い、その安全性を実証した。さらに、実際の港湾での荷役時の落下事故を模擬した輸送荷姿での使用済燃料輸送容器の落下試験や実際の火災事故時の評価を行い、その安全性を実証した。

② 高レベル廃棄物輸送容器の規則適合性実証試験

海外再処理返還高レベル廃棄物輸送容器の最初の輸送に先立って、その規則適合性実証試験を行い、その安全性を実証した。

③ 天然六フッ化ウラン輸送容器の火災事故時試験

仏原子力安全防護研究所との共同研究により、天然六フッ化ウラン輸送容器の火災事故時試験を行い、800・30分の火災条件下では容器が内圧が上昇して破裂する可能性について解析で検討し、対策として、耐火保護カバーの必要性・有効性を明らかにした。本成果により2001年以降の安全審査で有効な解析手法を整備し、IAEAやISOの規則・指針策定活動にも貢献した。

④ MOX新燃料海上輸送の安全性評価

MOX新燃料の安全輸送に資するため、米国サンディア国立研究所の協力を得て、「輸送容器の耐水圧性能解析評価」、「燃料被覆管の耐水圧性能試験評価」、「輸送物の海没時の被ばく線量計算評価」に関して、国際的に説得力のある資料を作成し、MOX新燃料の実輸送を支援した。

今後、取り組む主な研究は、次のとおりである。

① 確率論的環境影響評価手法の開発

従来の決定論的な安全評価を補完する確率論的な安

全評価手法の実用化に資する。また、輸送経路中の国際沿岸域での仮想海没時の環境影響評価を行う。

② 廃炉に伴う放射性物質輸送方策の検討

大型・大量の放射性物質の安全で合理的な輸送システムについての検討・提案を行う。

③ 輸送容器密封部の腐食評価

海上輸送中の仮想海没事故時の輸送容器の海中での腐食挙動を明らかにする試験により、輸送のPAに資する。

(2) 使用済燃料貯蔵技術

1980年に日米共同で「環太平洋使用済燃料貯蔵構想研究」を実施して以来、当所は日本における使用済燃料貯蔵研究をリードし、国内外の貯蔵技術の発展に貢献してきた。最近の主な成果の概要は以下のとおりである

① 乾式キャスク貯蔵技術確証試験

実物大の金属キャスク等を用いた試験により、金属キャスクの通常時・異常時の除熱・密封・構造的健全性を確証し、それぞれの評価手法を提案した。これらの成果をもとに、原子力安全委員会により、乾式キャスク貯蔵の許認可に必要な安全設計指針が策定された。このほかキャスク用鋳鉄材料の日本工業規格、IAEAのキャスクの脆性破壊評価指針、IAEAの貯蔵の安全指針策定にも協力した。これらを踏まえて、我が国で最初の乾式キャスク貯蔵(東電福島第一発電所)の許認可を支援した。さらに原電東海発電所の乾式キャスク貯蔵も支援している。

② 高燃焼度・MOX使用済燃料貯蔵の密度向上・コスト低減技術の開発

近い将来、貯蔵の対象となる使用済みの高燃焼度・MOX燃料は、放射能および発熱量が高く、従来技術でそのまま貯蔵しようとする、貯蔵密度の低下ひいては貯蔵コストの増大を招く。そのため、貯蔵密度を向上させる技術やコスト低減の研究開発を行った。

③ 使用済燃料貯蔵の経済性評価

2010年に向けた発電所敷地外貯蔵方式として、プール貯蔵とキャスク貯蔵の貯蔵単価を試算し(各々、0.15、0.09円/kWh)、通産省原子力部会の中間報告に引用・公開された。

表1-2-1 キャスク実証試験等の実績

輸送容器	落下	伝熱	耐火	耐圧	遮へい	計
使用済燃料	17	7	4	5	7	40
高レベル廃棄物	5	3	2	2	2	14
低レベル廃棄物	13	0	1	0	0	14
六フッ化ウラン	12	0	8	3	0	23
低レベル廃棄物	55	0	0	0	0	55
その他	7	0	1	3	1	12
計	109	10	16	13	10	158

今後、取り組む主な研究は、次のとおりである。

① コンクリートキャスク等によるリサイクル資源貯蔵技術の確証試験

経済性に優れているコンクリートキャスク等の実用化を目指し、コンクリートキャスクの耐候性、耐衝撃性試験、キャニスター(ステンレス鋼)の溶接部健全性試験を行う。併せて、廃棄物のリサイクル利用も兼ねた劣化ウランコンクリートキャスクの開発も行う。

② 輸送・貯蔵兼用キャスクによるリサイクル燃料資

源貯蔵技術の実用化

すでに、許認可されている貯蔵専用キャスクに加えて、輸送・貯蔵兼用キャスクを実用化することによるコスト低減を図るための技術データを整備する。

③ 貯蔵の経済性評価と立地支援・地域共生型貯蔵技術の開発

将来的な使用済燃料輸送・貯蔵システムの経済的評価を行うとともに、使用済燃料の廃熱・放射線利用や貯蔵施設の景観の向上等を図る。