

再処理工場向け主要技術と新規制基準に適合した 安全性向上対策工事

Key Technologies for and Enhancement of Safety of Reprocessing Plant in Accordance with New Regulatory Requirements

三木 佑介 MIKI Yusuke 前原 尚裕 MAEHARA Takahiro 鈴木 淳 SUZUKI Jun

東芝エネルギーシステムズ(株)は、原子力発電プラントメーカーとして原子燃料サイクルの確立に向けた中核プラントである、日本原燃(株)の六ヶ所再処理工場の設計、建設に携わり、低レベル廃棄物処理・貯蔵施設や制御建屋のような施設全体から、清澄機や燃焼度計測装置(BUM: Burn-up Monitor)のような再処理特有の重要設備まで、幅広く納入してきた。また、福島第一原子力発電所の事故後、安全性に関する規制基準が改正されたことを受けて、現在、再処理工場のしゅん工に向けて、納入した施設や設備の新規制基準に対する適合性評価と改造工事によって安全性を更に向上させる取り組みを進めている。

As an all-round nuclear power plant supplier, Toshiba Energy Systems & Solutions Corporation has designed and constructed many of the major components of the Rokkasho Reprocessing Plant of Japan Nuclear Fuel Ltd., which is the core plant for the establishment of a nuclear fuel cycle in Japan. This work has included the delivery of a wide variety of products, ranging from facilities for low-level waste treatment and storage and the control building though to important equipment for reprocessing such as the settling centrifuge and burn-up monitor.

Toward completion of the plant, we are now engaged in evaluation and modification of these products to enhance safety in accordance with the new regulatory requirements, which were revised based on the lessons learned from the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.

1. まえがき

カーボンニュートラルの実現やエネルギーの安定供給に向けては、原子力発電の安全・安定な運用が欠かせない。資源が乏しい我が国において原子力発電によりエネルギーを安定的に供給するには、使用済み燃料を再処理し、ウランやプルトニウムなどの核燃料物質を取り出して再利用する原子燃料サイクルの確立が求められる。また、再処理などに伴って発生する放射性廃棄物を適切に処理・処分し、放射能によるリスクを将来にわたって低減しなければならない。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、このような原子燃料サイクルの中核となる、日本原燃(株)六ヶ所再処理工場の重要な設備の設計や建設を担当し、現在、福島第一原子力発電所の事故後制定された新規制基準に適合させるための、設備の評価・改造を行っている。

ここでは、これまで当社が納入してきた重要なプロセス設備や計測制御設備などの設計・建設の概要についてまず述べ、更に、再処理工場のしゅん工に向けた、新規制基準に適合させるための設備の評価・改造への取り組みについて述べる。

2. 燃料サイクル施設の設計・建設の概要

六ヶ所再処理工場は、国内の軽水炉(沸騰水型原子炉(BWR)及び加圧水型原子炉(PWR))の使用済み燃料から、ウランとプルトニウムを回収する国内初の大型商用再処理プラントである。再処理工場は、それぞれ異なる機能を持った複数の施設・建屋で構成されている。当社は、再処理工場の各施設で発生する固体放射性廃棄物を処理・中間貯蔵する低レベル廃棄物処理・貯蔵施設や、各施設の運転・監視を集中管理する中央制御室を備えた制御建屋について、原子力発電プラントメーカーとしての経験を生かして施設・建屋全体の設計・建設を行ってきた。また、プロセス設備や計測制御設備など、重要な設備の設計・建設を行ってきた。

2.1 低レベル廃棄物処理建屋

低レベル廃棄物処理建屋は、再処理工場で発生する低レベル濃縮廃液、廃溶媒、TRU(Transuranic)固体廃棄物^(注1)、及び雑固体廃棄物などを処理する機能を備えた、地上4階・地下2階建て、敷地面積は約100m四方に及ぶ、再処理工場の中で最大の建屋である。

(注1) ウランより原子番号が大きい核種を含む放射性廃棄物。

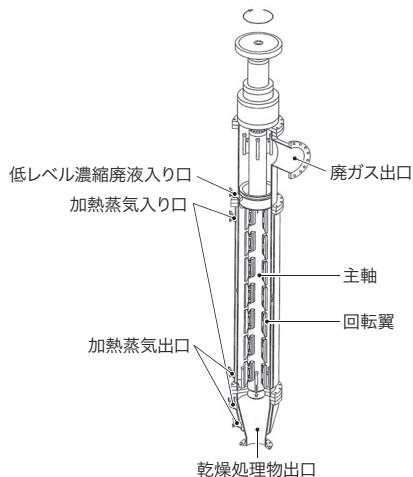


図1. 乾燥装置の構造

加熱された円筒内面上で低レベル濃縮廃液を乾燥させて粉体を生成し、回転翼でかき落とした粉体をペレット化処理する。

Structure of dryer

当社は、低レベル廃棄物処理建屋全体の設計・建設を担当しており、濃縮廃液を乾燥・粉体化し圧縮成型して固化する低レベル濃縮廃液処理設備⁽¹⁾(図1)のほか、各種の廃棄物処理プロセス設備を納入してきた。

2.2 中央監視制御設備⁽²⁾

六ヶ所再処理工場の各施設は、制御建屋の中央制御室に集中設置された監視制御盤(OIS: Operator Interface Station)で運転・監視が行われる。中央制御室の外観を、図2に示す。中央制御室には、ブロックと呼ばれる馬蹄(ばてい)形をした各施設のOISが六つ配置されている。各ブロックには、各施設のデータを収集・管理する工程管理用



図2. 六ヶ所再処理工場 中央制御室

中央制御室では、ブロックと呼ばれる馬蹄形に配置されたOISで各施設の運転・監視を行う。各施設のデータは、工場全体を統括管理する当直長用業務支援計算機に連結されている。

Central control room of Rokkasho Reprocessing Plant

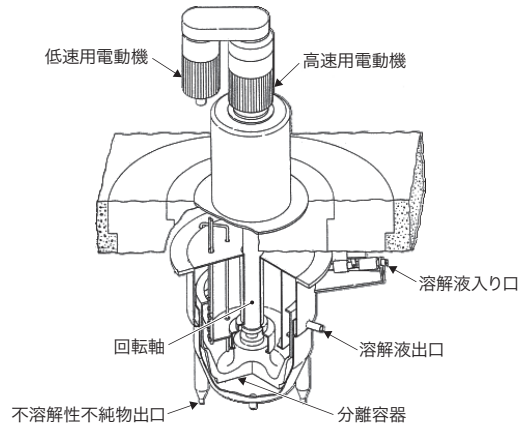


図3. 清澄機の構造

使用済み燃料をせん断・溶解した後の溶解液中の不溶性不純物を、2,000 rpmで高速回転する分離容器内で遠心力を利用して捕集した後、洗浄処理により除去する。

Structure of settling centrifuge

計算機が設置され、工場全体を統括管理する当直長用業務支援計算機に連結されている。

再処理工場の各施設の運転は、中央制御室に設置された各施設のOISと、各施設に設置されたプロセスデータの収集及び運転インターロックを制御するPCS(Process Control Station)から構成される分散型制御システム(DCS: Distributed Control System)で監視・制御されている。

当社は、制御建屋の設計・建設を担当し、上記の中央監視制御設備を納入したほか、各設備の更新も担当している。

2.3 清澄機⁽³⁾

清澄機(図3)は、使用済み燃料をせん断・溶解した後の溶解液中の不溶性不純物を、2,000 rpmで高速回転する分離容器内で遠心力を利用して捕集した後、洗浄処理により除去するものである。この装置はフランスから導入した技術を用いたものであるが、プロセス性能を模擬液により実規模スケールで検証した上で、国内規格に準拠した溶接構造、耐震構造への設計見直しを行い、実規模の加震試験での機能検証を実施した後に、製作、納入した。

2.4 BUM⁽⁴⁾

BUMは、臨界安全管理のために、使用済み燃料から放出されるγ線及び中性子線の量を測定し、同燃料の燃焼度及び残留濃縮度を非破壊で求める装置であり、使用済み燃料受け入れ・貯蔵施設(以下、F施設と略記)の燃料貯蔵プール内に設置されている。F施設では、残留濃縮度によって分別貯蔵しているため、燃料受け入れ時に燃料分別処理を行うための残留濃縮度の計測にもBUMが貢献している。BUMの構造を図4に、機能を表1に、それぞれ示す。

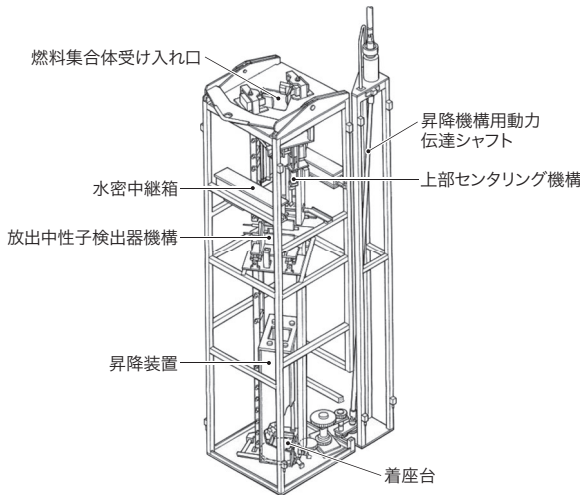


図4. BUMの構造

使用済み燃料から放出されるγ線及び中性子線の量を測定し、燃料の燃焼度及び残留濃縮度を非破壊で求めるのに用いる。

Structure of burn-up monitor

表1. BUMの機能

Functions of burn-up monitor

| 測定装置 | 第1ステップ | 第2ステップ BWR | 第2ステップ PWR |
|------|---------------------------------|---------------------|---------------|
| 対象燃料 | BWR燃料 PWR燃料 | BWR燃料 | PWR燃料 |
| 測定機能 | グロスA分布 (分離箱) | 中性子線 (核分裂計数管) | |
| | 中性子線 (核分裂計数管) | | |
| | Cs-137 (セシウム137) (ゲルマニウム検出器) | | |
| 運用方法 | 通常測定 | 予備測定 (第1ステップ異常時) | |
| 設置場所 | 燃料仮置きピットA系 燃料仮置きピットB系 | | |

3. 再処理工場しゅん工に向けた新規制基準適合への取り組み

福島第一原子力発電所の事故を受け、原子炉等規制法が改正・施行された。この原子炉等規制法への対応として、深層防護の観点から地震や竜巻などの自然現象の想定とその対策の強化に加え、火災や溢水(いっすい)などの安全機能の喪失を引き起こす可能性のある事象への対策の強化が求められている。更には、従来考慮されていなかった多重事象に伴う重大事故を想定し、発生防止、収束、影響緩和を考慮した対策の追加が要求されている。当社は、この要求基準(新規制基準)に適合させるため、当社納入施設・設備の改造設計・評価を行い、工事を実施してきた。以下において、具体的な対策内容を述べる。



図5. 廃ガス貯留設備(全13基)の外観

臨界事故で発生した放射性物質を含む気体を貯留槽に滞留させ、大気への放射性物質の放出量を低減させる。

Facility for waste gas storage (13 containers)

3.1 火災防護対策

安全機能を備えた施設が安全機能を喪失しないように、火災及び爆発の発生の防止と、万一これらが発生した場合の影響の軽減、消火を行う設備及び早期に火災を検知する機能の導入が要求されている。このため、延焼拡大防止の観点から、耐火要求のある躯体(くたい)の開口部と空調ダクトのそれぞれに、耐火シール及び防火ダンパーを設置している。また、安全系ケーブルが敷設されているケーブルトレイ及び中央制御室の床下に対しては、火災検知器の設置及び消火設備を追加で設置している。更には、各所の消火困難区域に対しても、消火設備を追加で設置している。

3.2 溢水防護対策

安全機能を備えた施設が、施設内で発生した溢水事象により安全機能を喪失しないことが要求されている。このため、溢水源となる系統には、遮断弁を設置することで施設内保有水量を限定させている。その上で、発生する溢水事象に対し、エリアごとに評価した没水高さに応じて、貫通部へのシールなどを行うことで、防護対象となる設備への影響を排除している。

3.3 耐震評価・補強

安全機能を備えた施設に対して、地震力に十分耐えることが要求されている。新規制基準用に策定された地震動に対して、弾性状態にとどまるか、設備破損により機能喪失しないかの評価を行い、機能喪失に至ると評価された設備は補強工事を実施している。

3.4 重大事故対策

設計上の想定を超える事象により、安全機能が喪失した場合に備え、喪失した安全機能の回復による重大事故の発

生防止、重大事故の進展・拡大防止、施設内への放射性物質の閉じ込め機能の維持、放射性物質の除去による影響の緩和機能が要求されている。重大事故の一つである臨界事故への対策として、臨界事故を検知するための検知器の設置、臨界を止めるための薬剤（可溶性中性子吸収材）の自動注入設備の設置、当該重大事故で発生した放射性物質を含む気体を滞留させて大気への放射性物質の放出量を低減させるための廃ガス貯留設備の設置を実施している。廃ガス貯留設備の外観を、**図5**に示す。

4. 今後の取り組み

原子燃料サイクルの確立のためには、各原子力発電所の再稼働や施設の運転寿命延長方策だけでなく、使用済み燃料の再処理や混合酸化物（MOX：Mixed Oxide）などの燃料加工、更には廃棄物管理から埋設処分に至るまでの各処理・処分工程に応じた更なる原子力施設の増設や新規建設が必要となっている。

六ヶ所再処理工場における新增設の施設計画のうち、当社は、既設の低レベル廃棄物処理・貯蔵施設を手掛けた経験を生かし、既存の設備では処理できない α 核種を含む低レベル廃棄物の処理、貯蔵管理などを行うための新規施設の建設計画プロジェクトに携わっている。発生する廃棄物の処理要求や埋設処分などの事業動向、原子燃料サイクルにおける前後工程の施設の稼働スケジュールなどを踏まえて、最適な設備の構成を提案し、プロジェクトを推進していく。

5. あとがき

当社は、使用済み燃料の再利用という原子燃料サイクルの確立に向けて、六ヶ所再処理工場の設計・調達・建設を担い、近年は新規制基準に適合した設備の評価・改造に携わってきた。また、今後、再処理工場のしゅん工に伴って増大する放射性廃棄物の安全・安定な処理・処分にも積極的に取り組んでいく。

当社は、原子燃料サイクルの実現に取り組むことにより、カーボンニュートラルの実現、エネルギーの安定供給に貢献していく。

文 献

- (1) 飯倉隆彦, ほか. 最新の原子燃料サイクル技術. 東芝レビュー. 2007, **62**, 11, p.23-27.
- (2) 中村健二, ほか. 再処理施設運転訓練シミュレータ. 東芝レビュー. 2004, **59**, 7, p.39-43.
- (3) 芝野隆之, ほか. 原子燃料サイクルへの取組み. 東芝レビュー. 2010, **65**, 12, p.43-46.
- (4) 山口伸一, ほか. 再処理工場 使用済み燃料の受入れ施設および貯蔵施設の建設と試運転実績. 東芝レビュー. 1999, **54**, 9, p.60-64.



三木 佑介 MIKI Yusuke
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 原子力福島復旧・サイクル技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



前原 尚裕 MAEHARA Takahiro
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 原子力福島復旧・サイクル技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.



鈴木 淳 SUZUKI Jun
東芝エネルギーシステムズ(株)
パワーシステム事業部 原子力福島復旧・サイクル技術部
Toshiba Energy Systems & Solutions Corp.