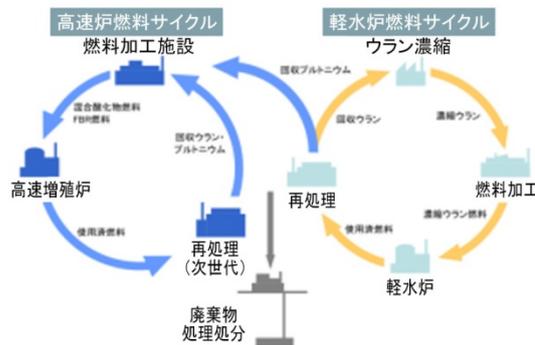


原子燃料サイクルの確立に向けた取組み

Activities for Nuclear Fuel Cycle Establishment



山田 周治*¹
Shuji Yamada

志方 正範*²
Masanori Shikata

村木 渉*³
Wataru Muraki

河野 卓矢*⁴
Takuya Kono

我が国では、原子燃料サイクルの推進を基本的方針としている。当社では、原子燃料サイクルの確立に向け、その中心的な施設である、日本原燃(株)が青森県六ヶ所村に建設中の再処理工場(以下、六ヶ所再処理工場)、及び MOX (Mixed Oxide) 燃料加工工場の早期稼働を目指し、主幹会社として、新規制基準要求に適合させるための各種対策工事の完遂に向けて取り組んでいる。

1. はじめに

エネルギー基本計画⁽¹⁾において、我が国は、原子力を準国産エネルギーと位置付け、資源の有効利用、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する、原子燃料サイクルの推進を基本的方針としている。

六ヶ所再処理工場は、アクティブ試験(実際の使用済燃料による性能確認)の最終段階にあったが、東日本大震災発生を受けた新規制基準が施行されたことを受けアクティブ試験を中断し、当該基準⁽²⁾に適合させるべく各種対策に取り組んでいる。表1に主な当社の取組み内容を示す。

表1 六ヶ所再処理工場の新規制基準対応工事と当社取組み

No.	対策項目	主な当社取組み内容
1	内部溢水対策	緊急遮断弁の設置, 止水・被水処置
2	竜巻対策	主排気筒, 安全冷却水冷却塔への防護板, 防護ネットの設置。安全冷却水冷却塔の増設
3	内部火災対策	消火設備の設置, 貫通部の耐火処理
4	緊急時対策所の追設	緊急時対策所の機電設備設置工事
5	耐震性向上	各種機器設備の評価, 補強工事
6	重大事故等対処設備の追加	蒸発乾固対策設備設置, 臨界事故対処設備の設置

また、MOX 燃料加工工場は、建設工事中の段階にあったが、再処理工場と同様に、新規制基準に適合させるために各種の設計反映を行い、建設工事を進めることとしている。

本報では、原子燃料サイクル確立に向けた取組みの中から、六ヶ所再処理工場の臨界事故対処設備の設置検討、及び MOX 燃料加工工場の換気シミュレーションツール高度化について説明する。

*1 原子力カドメイン新型炉・原燃サイクル技術部 主席 PJ 統括
*3 原子力カドメイン新型炉・原燃サイクル技術部

*2 原子力カドメイン新型炉・原燃サイクル技術部 課長
*4 原子力カドメイン新型炉・原燃サイクル技術部 グループ長

2. 六ヶ所再処理工場 臨界事故対処設備の設置検討

六ヶ所再処理工場では、軽水炉の使用済燃料集合体を以下のような処理プロセスを経て、ウラン粉末、及び MOX 粉末を製品として生産する。

- ・使用済燃料集合体の貯蔵
- ・使用済燃料集合体のせん断・溶解処理(集合体→溶解液)
- ・分離、精製処理(溶解液→ウラン溶液、プルトニウム溶液)
- ・脱硝処理(ウラン溶液、プルトニウム溶液→ウラン粉末、MOX 粉末)

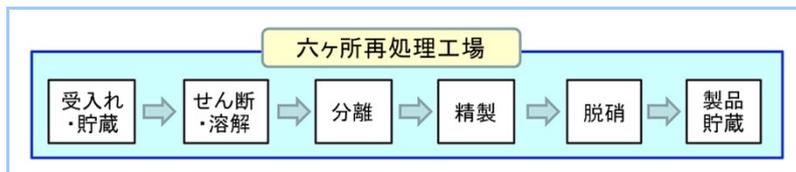


図1 使用済燃料再処理の全体工程

このような処理プロセスにおいて、深層防護の概念を取り入れ、想定される異常事象に対して、発生防止、拡大防止、影響緩和のための対策を講じている。その上で、これらの対策の設計を超える条件で発生する異常に対して、公衆への放射線影響が大きい以下の事象を重大事故としている。

- ・臨界事故・冷却機能の喪失による、蒸発乾固・放射線分解により発生する水素の爆発
- ・有機溶媒等による火災、爆発・使用済燃料貯蔵プールでの臨界・放射性物質の漏えい

上記のうち、臨界事故は再処理施設に特有な重大事故の一つであり、従来、十分な余裕を有する核的制限値の設定や単一故障を考慮した、発生防止のための対策が講じられている。

新規規制基準では、設計上で定める条件より更に厳しい条件下で重大事故が発生することを想定しており、その拡大防止、影響緩和の対策が求められている。

使用済燃料が溶解した液による臨界事故時には、放射性ガス(希ガス(Kr, Xe), 及びヨウ素(I))が発生するが、通常運転時の気体廃棄物処理設備では、完全に捕集することは困難であり、大気に放出されることとなる。

この影響緩和策として、大気への放射性ガスの放出を可能な限り低減すべく、放射性ガスを圧縮して一時的に系内に貯留し、放射能が十分に減衰した後に、管理放出する新たなシステムを構築した。

(1) 放射性ガス(希ガス(Kr, Xe), 及びヨウ素(I))の減衰効果

放射性ガスは、発生から時間とともに減衰し、比較的短い時間で放射性物質の量が減少するため、臨界事故発生からある一定時間、発生した放射性ガスを系統内に閉じ込めることで、公衆への影響を緩和する効果が期待できる(減衰効果を図2に示す)。六ヶ所再処理工場では発生した放射性ガスを、1時間以上系統内に貯留することで、放射線ガスによる被ばく線量を95%以上低減するための廃ガス貯留設備の設計を進めている。

(2) システム構成

図3に廃ガス貯留設備のシステム構成を示す。臨界事故時に発生した放射性ガスは、気体廃棄物処理設備から屋外に放出される前に隔離弁を閉止し、新たに設置する廃ガス貯留設備に導出される。廃ガス貯留設備は、廃ガス貯留槽や空気圧縮機を有し、この空気圧縮機により0.4MPa程度まで圧縮することで、廃ガスを効率的に貯留する。廃ガス貯留槽については、臨界事故の発生を起点として、1時間以上放射性ガスを貯留できる容量を有する設計としている。また、空気圧縮機は、原子力施設向けに開発された、水素や放射性希ガスを含むガスの圧縮が可能な水封式と呼ばれる特殊な方式を採用している。本空気圧縮機は、多くの発電炉で稼働実績を有する信頼性の高いものである。

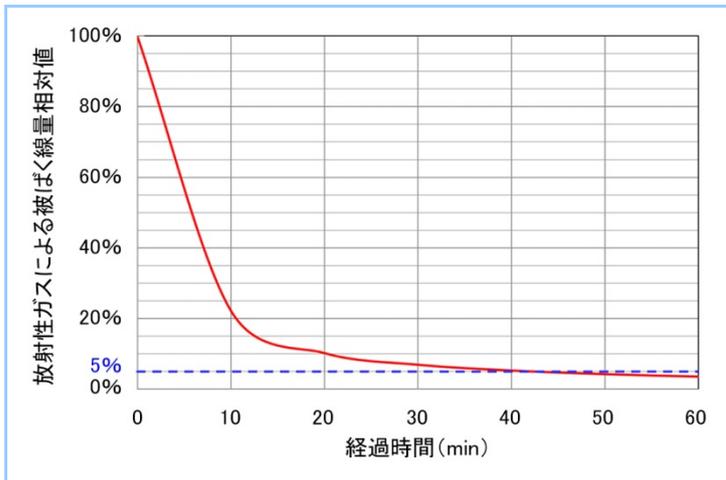


図2 希ガス及びよ素の減衰効果

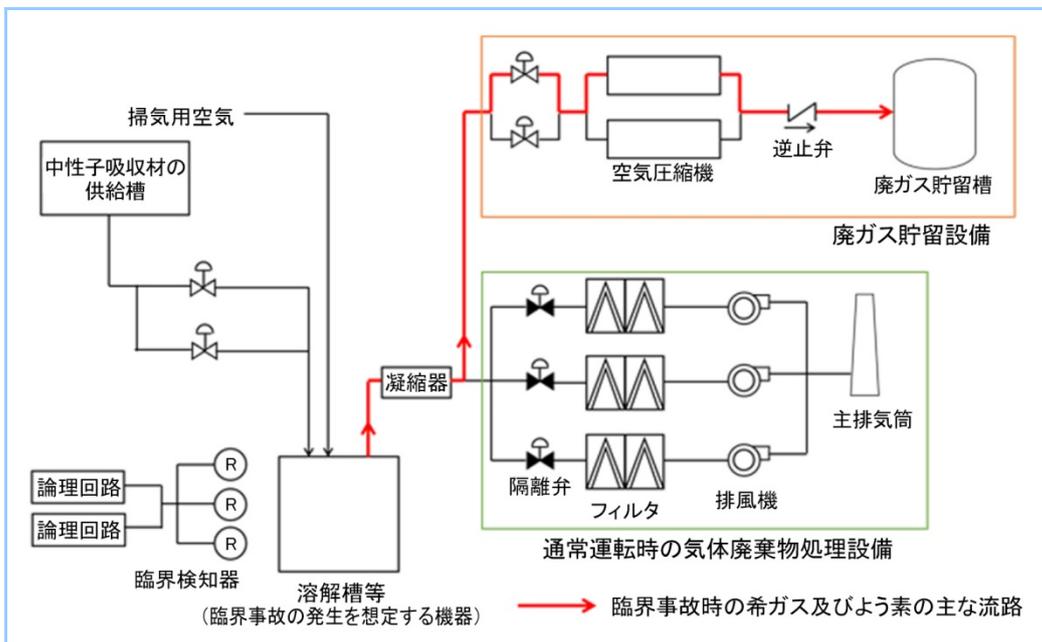


図3 廃ガス貯留設備のシステム構成

3. MOX 燃料加工工場 換気シミュレーションツール高度化

3.1 MOX 燃料加工工場の概要

MOX 燃料加工工場は、国内初の商業用MOX燃料集合体製造施設として、六ヶ所再処理工場に隣接して建設が進められている。日本原燃(株)が実施した基本設計に基づき、当社が主幹会社としてプラント建設を纏めている。

MOX 燃料は、使用済燃料の再処理によって回収される、プルトニウムとウランとを混ぜ合わせることによって作り出される燃料である。これを軽水炉発電所で利用することによって、燃料資源の節約に繋がることから、MOX 燃料加工工場は、原子燃料サイクルにおいて、中核的な役割を果たすものである。

その MOX 燃料加工工場の建設に際しては、MOX 燃料の特質、及び国内外での実績を考慮し、六ヶ所再処理工場同様に、東日本大震災後に施行された新規制基準に適合させるために、閉じ込め対策、放射線遮へい対策などの各種の措置が講じられている。

MOX 燃料の加工手順を図4に示す。MOX 燃料加工工場は、これら燃料加工プロセスに係る設備、及び分析設備、廃棄設備、非常用発電設備、換気空調設備などの周辺設備により構成されている。

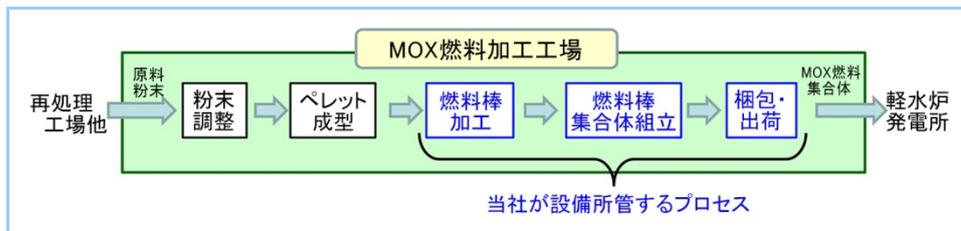


図4 MOX 燃料の加工プロセス

3.2 換気シミュレーションツールの高度化

MOX 燃料加工工場では、放射性物質の閉じ込めを目的として、放射性物質を内包するグローブボックス、設置部屋、建屋の順に圧力が低くなるように、段階的な負圧管理を行っている。また、グローブボックス内は、製造される MOX 燃料の品質維持の観点から、窒素雰囲気中で管理されている。これらの機能を担うのが換気空調設備である。同設備の試運転時には、複雑に組合わされた窒素雰囲気のグローブボックス内を、定められた負圧に保つための換気バランス調整が必要となる。この換気バランス調整のために開度調整するダンパ数は、1000 か所以上に及ぶことから、試運転調整を効率的かつ確実にを行い、調整期間の短縮、作業員の負荷低減を図ることを目的に、換気シミュレーションツールの開発を行っている。換気シミュレーションの実行イメージを **図5**に示す。

(1) 換気シミュレーションモデルの精緻化

換気空調設備の系統は主に、送排風機、フィルタ、ダクト、及びダンパ等で構成されており、複雑に組み合わされた系統の圧力損失特性を精度よく再現するために、各構成要素の動作特性などの試験データを採取し、換気シミュレーションモデルに抵抗要素として反映することで精緻化を行った。また、送排風機に関しては、停止時のコーストダウン特性についても、換気シミュレーションモデルへ反映することで、系統の過渡変化に対する再現精度向上も行っている。これにより、一層、厳格な閉じ込め管理を行うための微負圧管理が可能なものとなっている。

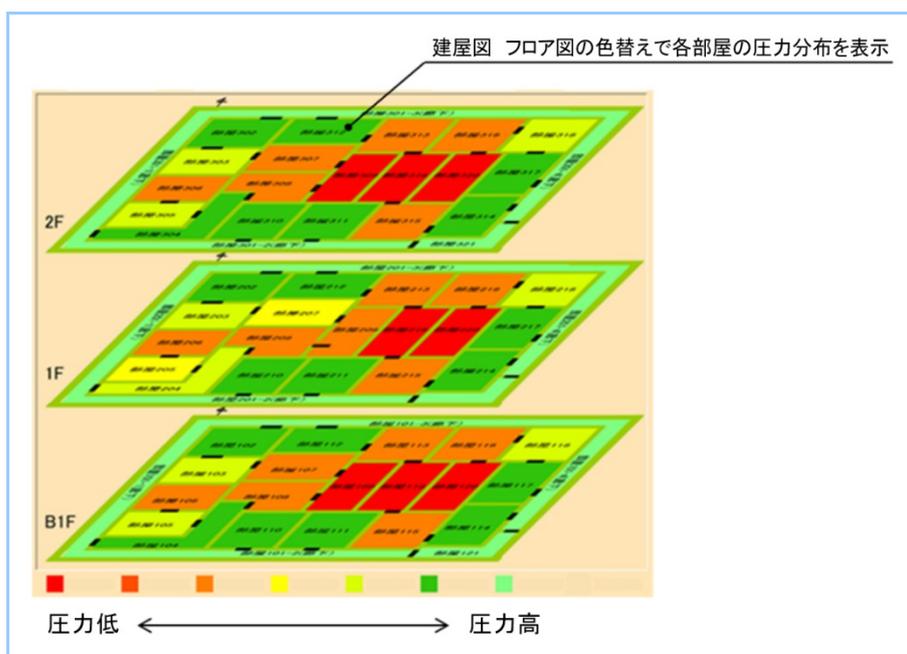


図5 換気シミュレーションツール 実行イメージ*

※建屋配置等は MOX 燃料加工工場のものではない

(2) 多変数最適化技術適用による解析時間短縮

換気シミュレーションツールにより、調整前の目標予想だけでなく、調整結果をフィードバック

し、調整期間中に日々変化するプラント状況に応じた、調整目標予想を達成するための高度化を進めており、調整現場における即時対応への活用を計画している。

この換気シミュレーションツールに、多変数最適化技術(主双対内点法[※]等)を組み込むことで、多数ある調整箇所を一度に最適化し、これまで作業員が試行錯誤的に手動で行っていた調整作業に対して、目標の負圧バランスを短時間で達成できるように改良を行っている。加えて、調整結果のフィードバックを行う際に、プラント状況が設計想定から異なる状況を早期に検知し、調整時の手戻りリスクを最小化することも、多変数最適化技術適用時のメリットとして期待できる。

更には、AI(Artificial Intelligence)技術も合わせて搭載し、膨大な選択肢の中から、計算結果に応じた有効な調整方法を選択的に実行することで、更なる解析の時間短縮、及び精度向上が期待できる。

換気シミュレーションによって、ダンパの開度調整期間を従来手法と比較して大幅に短縮すべく、ツールの開発を進めており、今後、要素試験での検証を経て、試運転時のみならず、竣工後の運転支援ツールとしての活用も視野に実用化を目指している。

※実行可能領域の内部を経由して最適解に収束する連続最適化問題のアルゴリズムで、内点法の中でも主問題と双対問題を同時に解く方法を双対内点法と呼ぶ。

4. まとめ

我が国の原子燃料サイクルの確立に向けた取組みとして、六ヶ所再処理工場の臨界事故対処設備及びMOX燃料加工工場の換気シミュレーションツール高度化を紹介した。

当社は、六ヶ所再処理工場、MOX燃料加工工場の竣工後の安定操業に向けた継続的な設備保全、設備改善にも取り組んでおり、これら原子燃料サイクル関連施設の早期竣工・安定操業を通じ、プルサーマル計画(軽水炉燃料サイクル)の推進と、将来的な高速炉燃料サイクルの実現に向けて最大限貢献していく所存である。

参考文献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁, エネルギー基本計画, (2018)
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf
- (2) 日本原燃株式会社, 第34条:臨界事故の拡大を防止するための設備, 六ヶ所再処理施設における新規制基準に対する適合性, 資料3-2, (2020), p.60