

企画セッション | 部会・連絡会セッション：再処理・リサイクル部会

■ 2016年9月7日(水) 13:00 ~ 14:30 | 会場 久留米シティプラザ スタジオ3_1

[PL1H] 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2報告

座長：池田 泰久（東工大）

[PL1H01] 報告書概要説明

フェーズ2における検討の目的

*村松 健¹ (1.東京都市大)

[PL1H02] 報告書概要説明

廃液の沸騰乾固

*吉田 一雄¹ (1.JAEA)

[PL1H03] 報告書概要説明

セル内での有機溶媒火災

*阿部 仁¹ (1.JAEA)

[PL1H04] 報告書概要説明

臨界事故

*山根 祐一¹ (1.JAEA)

[PL1H05] 報告書概要説明

放射線分解水素の爆発

*石尾 貴宏¹ (1.日本原燃)

[PL1H06] 総合討論

再処理・リサイクル部会セッション

「核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2 報告」

(1) フェーズ2における検討の目的

(1) Objectives of Phase-II Activity

再処理・リサイクル部会 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ

主査 池田 泰久¹, 副主査 *村松 健²¹東京工業大学, ²東京都市大学

1. 緒言

我が国では、福島第一原子力発電所事故の教訓を踏まえて、原子力発電施設だけでなく、核燃料サイクル施設についてもシビアアクシデントのリスクを検討し、これに基づいて安全確保のあり方を見直し、一層の安全性向上を図る努力が進められている。

2. 活動の経緯とフェーズ2の目的

再処理・リサイクル部会は、再処理施設等の建設、運転、安全評価、研究開発、人材育成等に係わる多様な組織の研究者、技術者により構成される部会である。この特性を活かして、部会員が有する最新の知見及び専門的経験に基づいて、科学技術的観点から上記課題を検討し、科学合理性の高い安全確保及び安全規制並びに社会への説明責任の達成に資するよう、核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループを立ち上げた。

活動のフェーズ1の成果として、核燃料サイクル施設における内的及び外的事象に起因するシビアアクシデント（「設計基準事故の想定を超える条件で発生し、その判断基準を超えて大きい影響をもたらす事故」と定義し、新規基準での「重大事故」と区別して用いている）を科学的・技術的観点から選定する方法（グレーデッドアプローチ）について提案した^{[1][2]}。この方法を実施する上で必要な情報のうち、事故の「発生頻度」については原子力発電施設のために開発されたPRA等の手法を用いた評価が可能と考えられるが、「影響」についてはサイクル施設のシビアアクシデントの条件での評価は世界的にも広くは検討されておらず、体系的な調査検討と整理が必要であった。

このため、フェーズ2では、事故影響評価手法に関する現状の整理、課題の把握及び課題解決の方法について、客観的かつ専門的視点から検討を行うこととした。

3. 調査の対象

調査では、再処理施設で想定しうる臨界、蒸発乾固、放射線分解水素の燃焼/爆発、有機溶媒火災、使用済燃料の著しい損傷事故等の影響評価方法に関する現状の整理、課題の把握及び課題解決の方法に重点を置くこととした。

参考文献

- [1] 核燃料サイクル施設 SA 研究 WG 解説記事 「核燃料サイクル施設における対応を検討すべきシビアアクシデントの選定方法と課題」（日本原子力学会誌, Vol.57, No.5, pp.331-339 (2015)）
- [2] 核燃料サイクル施設 SA 研究 WG 報告書 「核燃料サイクル施設における対応を検討すべきシビアアクシデントの選定方法と課題」 http://www.aesj.or.jp/~recycle/sawg/sawg_report_final.pdf

Yasuhisa Ikeda¹, *Ken Muramatsu²¹Tokyo Institute of Technology, ²Tokyo City University

再処理・リサイクル部会セッション

「核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2 報告」

(2) 廃液の沸騰乾固

(2) Evaporation to Dryness of Waste Solution

再処理・リサイクル部会 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ

沸騰乾固サブワーキンググループ主担当 吉田 一雄

原子力機構

1. 想定される事故の概要

再処理施設の機器には、放射性物質の崩壊熱により内包する硝酸塩溶液の温度が沸点まで上昇するものがある。このような機器での溶液の沸騰を防止するために種々の対策が講じられているが、敢えてこれらの対策を考慮せず冷却機能が全喪失した状態が継続すると仮定すれば、溶液が沸騰しいずれ乾固する。例えば、高レベル廃液貯槽では溶液の沸騰及び乾固後の脱硝反応に伴い発生する気体（水蒸気、硝酸蒸気あるいは NO_x ガス）とともに貯槽から放出される放射性物質は、貯槽の圧力上昇を防止する目的で設置される廃ガスシールポットから廃ガス処理セル内に流出することが想定される。セルに流出した放射性物質を含む気体は、セル排気系から排気筒放出されるかまたはセルから建屋内へ逆流し建屋排気系から排気筒放出される（図1）。

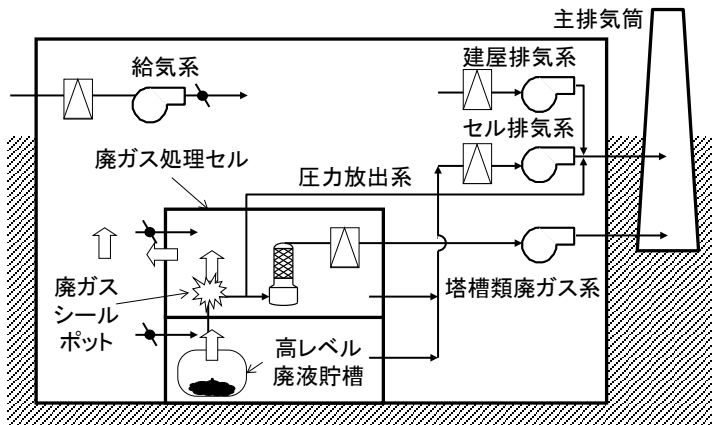


図1 想定される放射性物質の移行経路

2. 検討内容

沸騰が始まると水分が蒸発し廃液が徐々に濃縮され、それにつれて溶液温度は上昇し約 120°C 程度に達し共沸状態となる。この期間（沸騰初期）では、廃液の沸騰で発生した気泡の破裂で生じる飛沫が上向蒸気流に同伴される。主としてこのメカニズムにより放射性物質が気相部へ移行しエアロゾル化（気体中の浮遊する固体あるいは液体の粒子状物質）する。沸騰晩期（共沸状態到達以降の約 $120\sim 160^{\circ}\text{C}$ ）では、溶液中の Ru は揮発性の化学種に変化するので放射性物質の気相部への移行は、飛沫同伴に比べて桁違いに多くなる。乾固後（ 160°C 以上）では、Ru の気化は減少しながらも 180°C 程度まで継続するが、約 400°C までに多くの化学種の硝酸塩の脱硝反応が進み、放射性物質の気相への移行はほぼ終了する。

本発表では、模擬廃液および実廃液を用いた放射性物質の気相への移行に係る基礎的データの取得を目的に実施された実験を調査し、飛沫同伴による放射性物質の気相への移行および Ru の気化による移行に係る基礎的データおよびそれに基づき提案された移行量評価モデルを概観する。さらに、それらのモデルを用いた評価に必要な沸騰時の廃液温度、硝酸濃度等を模擬する計算プログラム、発電用原子炉施設のシビアアクシデント解析コードを用いた再処理施設内でのエアロゾル移行挙動の解析事例についても紹介する。

Kazuo Yoshida

Japan Atomic Energy Agency

再処理・リサイクル部会セッション

「核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2 報告」

(3) セル内での有機溶媒火災

(3) Fire of Organic Solvents in Cell

再処理・リサイクル部会 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ

溶媒火災サブワーキンググループ 主担当 阿部 仁

原子力機構

1. 概要

PUREX 法を用いた再処理では、リン酸トリブチル及びドデカンを用いた溶媒抽出によって、ウラン及びプルトニウムをその他の成分から分離し精製する。現在の商用工場に一般的と考えられる安全対策、網羅的に行われた六ヶ所再処理施設の設計基準事象の選定及び改訂された炉規法の重大事故に関する定義を参考に、検討対象シビアアクシデント(SA)事象の一つとしてセル内有機溶媒火災を取り上げ、影響評価方法に関する現状の整理、課題の把握及び課題解決の方法について、客観的かつ専門的視点から検討を行った。

2. 検討内容

有機溶媒の漏えい、溶媒の引火点以上への加熱及び着火源の存在の 3 条件が成立する場合には、有機溶媒火災とそれに起因した放射性物質の放出及び移行が引き起こされる可能性がある。事故時の影響評価を行うためには、防火ダンパ閉止による窒息消火等の具体的な事故対策による効果も念頭に置きながら、適切なデータやモデルを適用することが重要となる。

セル内有機溶媒火災時の影響評価を行う際に考慮されるべきと考えられる因子の概要を下図に示す。上記 3 条件を鑑みた場合、事故の発生・継続の可能性を検討するためには、有機溶媒の引火・着火点や鎮火条件に係るデータが必要となる。火災時の影響を評価するために考慮すべき因子としては、燃焼有機溶媒からの放射性物質や煤煙等の放出速度や割合等の物質移流ソースターム及び換気系や建屋内での熱流動を計算するための熱流動ソースターム（質量消費速度、質量及びエネルギー放出速度）が考えられる。また、放射性物質の施設内への閉じ込め評価の観点からは、放射性物質や煤煙等の移行経路（換気系や建屋内等）での移行挙動評価や煤煙の目詰まりによる差圧上昇に伴う HEPA フィルタの健全性評価も重要となる。

本発表では、セル内有機溶媒火災時の影響評価を総合的に行う上で必要となると考えられるこれら因子に係るデータやモデルについて、五因子法との関連性も念頭に置きながら調査・整理し、課題の抽出を試みた結果について報告する。

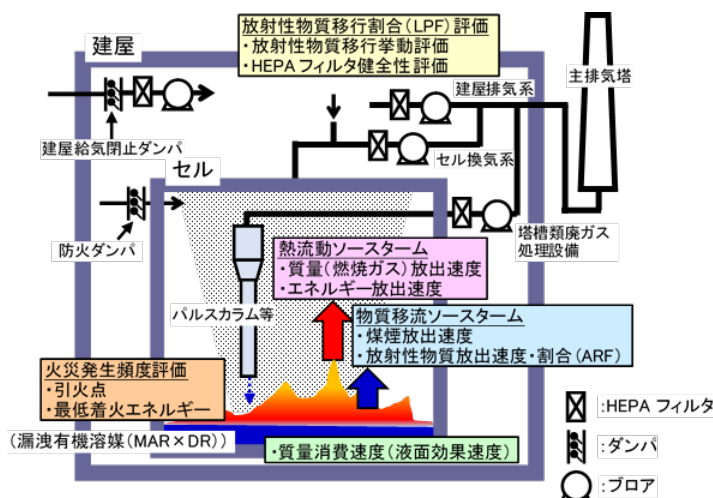


図 セル内有機溶媒火災時の放射性物質放出量評価において考慮される評価項目の概要

Hitoshi Abe

Japan Atomic Energy Agency

再処理・リサイクル部会セッション

「核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2 報告」

(4) 臨界事故

(4) Criticality Accident

再処理・リサイクル部会 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ

臨界事故サブワーキンググループ主担当 山根 祐一

原子力機構

1. 概要

再処理施設には多様なプロセスがあり、固体状や粉末状、沸騰状態もしくは沸騰していない液体など、さまざまな形態の核燃料物質を取り扱うため、想定されうる臨界事故の形態も幅広い。国内の施設では臨界事故を防止するための設計や管理方法が採用されており、設計基準事象及び立地評価事故としての影響評価も行われている。シビアアクシデント（SA）事象として臨界事故の影響評価を行う上で理解しておくべき、臨界事故の特徴、施設の設計や管理方法、シナリオ選定及び具体的な影響評価手法と残された課題について調査・検討を行った。

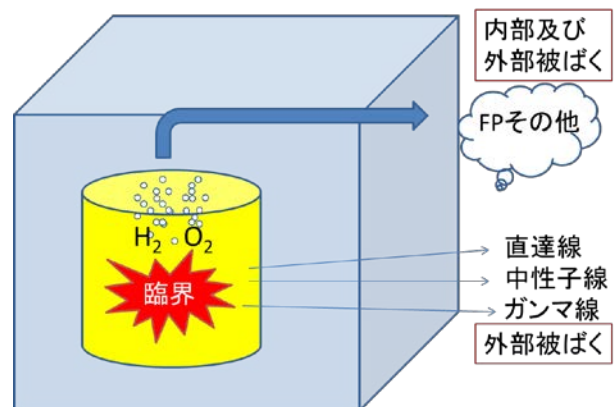
2. 検討内容

報告されているプロセス上の臨界事故のほとんどが溶液系で生じている。米国 ICPP の臨界事故（1959）では硝酸ウラニル水溶液の沸騰が継続したために 4×10^{19} という過去最大の核分裂数が生じた。

考慮すべき特徴としては、設計基準事象として多重防護（発生防止、拡大抑制、影響緩和）の有効性が検討されており、①SA としての臨界の想定には、設計基準を超える状態の想定が必要であること、②ソースタームとなる核種（希ガス、FP 核種）が核分裂により生成されるため、その総量が予め決まっていない（核分裂数に依存する）こと、③放射性物質の飛散による被ばくに加えて、直達線（核分裂で生じる放射線）による（主に従業員の）被ばくを考慮する必要があること、④放射線分解ガスとして水素及び酸素のガスが発生することなどが挙げられる。

国内施設の例として六ヶ所再処理施設では、臨界事故防止対策の類似性、換言すればそれが損なわれた場合の事故形態の類似性から、臨界安全の対象を大きく3つのグループに分類している。設計と運転管理における十分な臨界防止措置により臨界事故の発生の可能性を極力小さくしているが、周辺公衆への影響を評価するために設計基準事象として溶解槽の臨界事故を想定している。設計基準事象より低い発生頻度のシビアアクシデントのシナリオを決定論的に検討する場合、多重故障を想定することなどが考えられるが、無制限に極低頻度の事象を取り扱うことはリスクの視点を失うこととなり、グレーデッドアプローチとの整合性が課題となる。

本発表では、臨界事故の影響評価で五因子法を用いる場合について、MAR（影響を受ける物質の量）を炉物理分野の知見に基づいて評価し、その他の因子は、DOE ハンドブック等により評価する方法等を説明する。短半減期核種や移行中にガス状からエアロゾル状に変化する核種等の取り扱いが今後の課題である。



Yuichi Yamane

Japan Atomic Energy Agency

再処理・リサイクル部会セッション

「核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2 報告」

(5) 放射線分解水素の爆発

(5) Explosion of Hydrogen Generated by Radiolysis

再処理・リサイクル部会 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ

水素爆発サブワーキンググループ主担当 石尾 貴宏

日本原燃

1. 概要

本報告では、検討対象シビアアクシデント(SA)事象の一つとして、「放射線分解水素の爆発」を取り上げ、影響評価に必要なデータ、試験研究などを調査した結果及び課題などについて報告する。

2. 検討内容

再処理施設において、放射線分解により水素が発生する可能性のある機器については、蓄積防止のために圧縮空気で機器内の水素を掃気している。しかし、この掃気機能が喪失して水素が爆発下限濃度(4 vol%)以上に達し、さらに着火源が存在すると、水素爆発が発生する恐れがある(右図参照)。

水素爆発における事故の進展は、大きく「(1)水素掃気機能から爆発濃度までの上昇」、「(2)水素爆発」、「(3)水素爆発による影響」の3つに分けられる。

特に(1)の爆発下限濃度に至るまでの時間余裕の評価には、水素発生量算出に用いる水素 G 値を適切に設定する必要がある。そこで、過去の調査状況も踏まえて、最新の研究状況を調査し、そこから得られる課題を抽出した。また、(3)については、放射性物質の放出量を評価することが重要であり、その手法として「五因子法」を用いることが一般的であることが分かった。「五因子法」では、引用するデータの実験条件と実機の条件を比較して、可能な限り過度な保守性を排除して、適切に設定することが重要である。そこで、放出量評価に特に大きく影響を与える ARF(気相への移行割合)、LPF(放出経路での低減割合)について、既存の知見及び最新研究状況を調査し、そこから得られる課題を抽出した。

本発表では、放射線分解の水素爆発時における影響評価を総合的に行う上で必要となると考えられるこれら因子に係るデータやモデルについて、五因子法との関連性も念頭に置きながら調査・整理し、課題の抽出を試みた結果について紹介する。

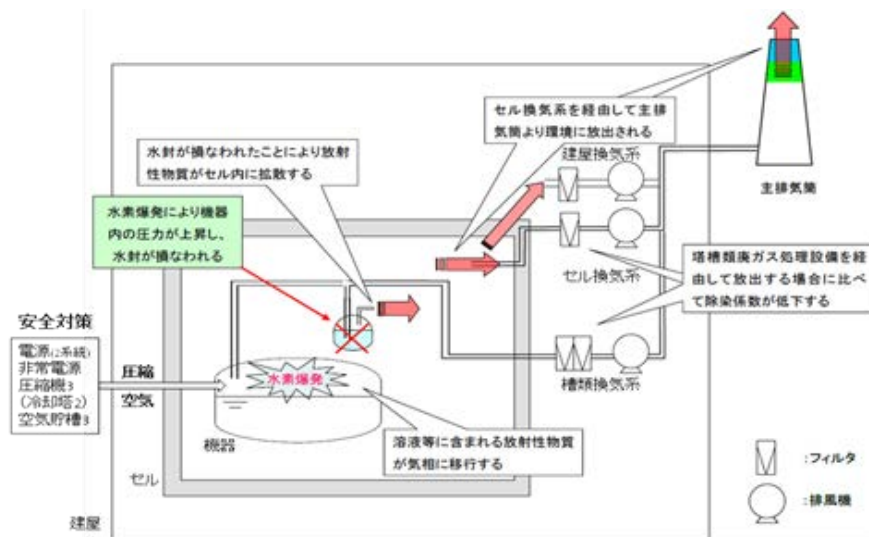


図 水素爆発事象と放射性物質放出経路

Takahiro Ishio

Japan Nuclear Fuel Limited

企画セッション | 部会・連絡会セッション | 再処理・リサイクル部会

[PL1H] 核燃料サイクル施設シビアアクシデント研究ワーキンググループ フェーズ2報告

座長：池田 泰久（東工大）

2016年9月7日(水) 13:00 ～ 14:30 H会場 (久留米シティプラザ スタジオ3)

[PL1H06]総合討論

本ワーキンググループでは、“設計基準事故の想定を超える条件で発生し、その判断基準を超えて大きい影響をもたらす事故”（シビアアクシデント）のうち、対応を検討すべきものを選定するための判断基準等について調査検討した（フェーズ1）。

フェーズ2では、世界的にも前例の少ない再処理施設のシビアアクシデント条件での影響評価に重点を置いて体系的に調査検討・整理した。本発表では、想定しうる沸騰乾固、有機溶媒火災、臨界、水素爆発影響評価方法に関する現状の整理、課題の把握及び課題解決の方法について報告する。国内外の再処理施設の継続的安全向上活動等における影響評価技術を理解する上で参考になれば幸いである。