

研究計画（案）説明資料

再処理施設及びMOX燃料加工施設における 重大事故等の事象進展に係る研究

事前評価 説明資料

令和2年10月27日

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

核燃料廃棄物研究部門

目次

1. 背景
2. 目的
3. 研究の概要
4. 研究計画(行程表)

1. 背景(1/4)

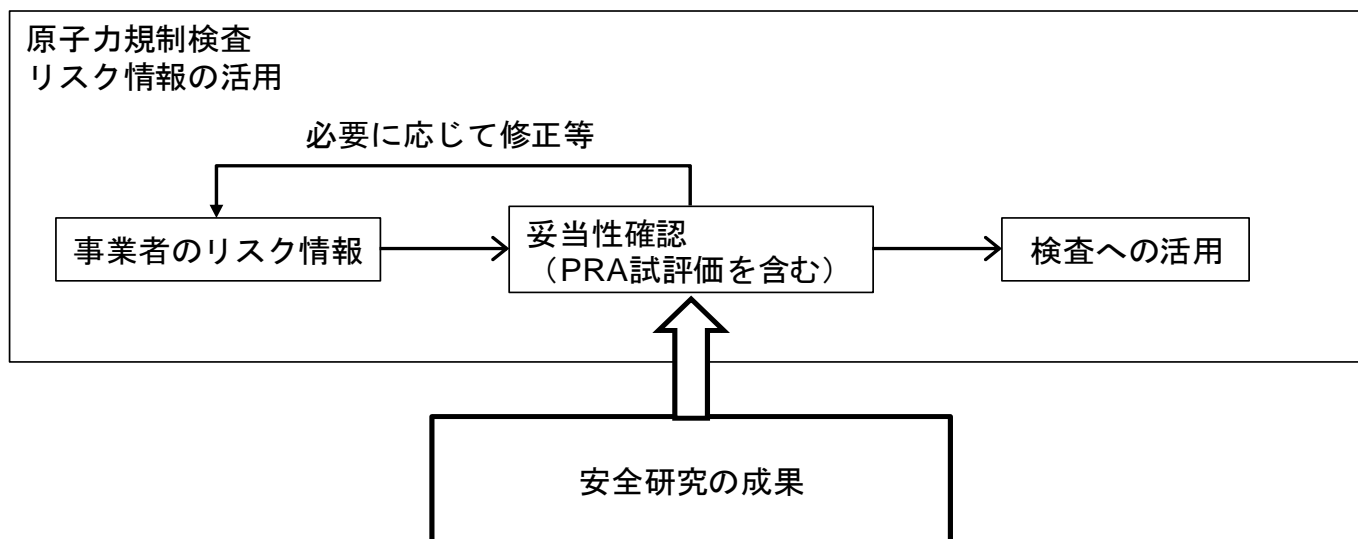
【本安全研究プロジェクトと新検査制度との関係】

- 令和2年4月から施行された新たな検査制度では、検査の実施方針、検査指摘事項の重要度評価等において、合理的な範囲でリスク情報を活用し、効率的かつ効果的な検査の実施に努めることとされている。このため、検査における優先度や検査結果に対する重要度を判断するためのリスク情報が重要である。
- このようなリスク情報を得るに当たっては、想定される全ての事故シナリオについてリスク評価を行うことにより、その相対的な重要度を明確にすることができるが、そのためには、核燃料サイクル施設のリスク評価に適した評価手法の整備と、全ての事故シナリオを過度に保守的となることなく定量的に構築するためのデータや解析コードが必要になる。
- 特に、事故の発生確率は低いがその影響が大きいと想定される事故シナリオは重要度の評価に影響を及ぼす可能性があり、上述した原子力規制検査における優先度や重要度を評価する観点からこれらのデータを適切に取得・整備することが必要である。

1. 背景(2/4)

【研究成果の活用先】

- 本安全研究では、原子力規制検査において事業者が示すリスク情報の妥当性を原子力規制庁が確認することを想定しており、本安全研究により得られたデータは、このデータに基づく事故シナリオやその規模、放射性物質の挙動、影響範囲、余裕時間等の知見を用いて事業者が示すリスク評価モデルの妥当性確認^注に活用される。



本安全研究で想定する安全研究の成果の原子力規制検査への活用のイメージ

注: 上記の妥当性確認のため、リスク評価を実施する環境については別途整える。

1. 背景(3/4)

【研究対象事象の選定理由】

- 本プロジェクトでは、再処理施設については蒸発乾固事象を、MOX燃料加工施設についてはグローブボックス(GB)火災を研究対象としている。その理由は次のとおり。

＜再処理施設において蒸発乾固事象を対象とした理由＞

- ・ 使用済燃料の再処理の事業に関する規則では、重大事故として臨界事故、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による爆発、有機溶媒等による火災又は爆発、使用済燃料貯蔵槽に貯蔵する燃料の損傷及び放射性物質の漏えいが挙げられている。
- ・ 実施設の新規制基準適合性審査結果によると、重大事故として、蒸発乾固、水素爆発及び使用済燃料の著しい損傷が挙げられている。
- ・ このうち、使用済燃料の著しい損傷については実用発電用原子炉と共通する重大事故であり、実用発電用原子炉の知見が活用できることが想定される。
- ・ 蒸発乾固については、高レベル廃液がある一定温度を超えた際に揮発性物質の気相移行を示唆する知見が得られており、その気相移行割合は水素爆発時に想定される気相移行割合に比べて大きいことから、本研究における再処理施設の重大事故として、蒸発乾固を優先的に取り上げた。

1. 背景(4/4)

＜MOX燃料加工施設においてGB火災を対象とした理由＞

- ・ 核燃料物質の加工の事業に関する規則では、重大事故として臨界事故及び核燃料物質等を閉じ込める機能の喪失が挙げられている。
- ・ 臨界事象は一般公衆の被ばくという観点からは相対的な影響は大きくないものと考えられる。
- ・ 閉じ込め機能の喪失では、MOX燃料粉末の環境への放出が想定され、その駆動力を与える事象として焼結炉における水素爆発及び有機材料を構成材料とし非密封のMOX燃料粉末を内包するGBの火災が考えられる。
- ・ 焼結炉の水素爆発ではそれによる駆動力が大きく、その影響は大きいことが想定されるが、水素爆発に関しては解析コードによる評価技術が検討されている実績がある。
- ・ GBについては施設内の広範な領域に多数基設置されるものと考えられ、その火災は、パネル(有機材料)等の熱分解及び燃焼、それに伴う熱流動、ばい煙の発生、GB間での延焼等、事象進展に伴う火災の挙動は複雑になることが想定される。
- ・ 海外ではGBの火災が多数報告されており、フランス放射線防護原子力安全研究所(IRSIN)ではGB火災に関する試験が進行中である。このような理由から、MOX燃料加工施設の重大事故として、GB火災を優先的に取り上げた。

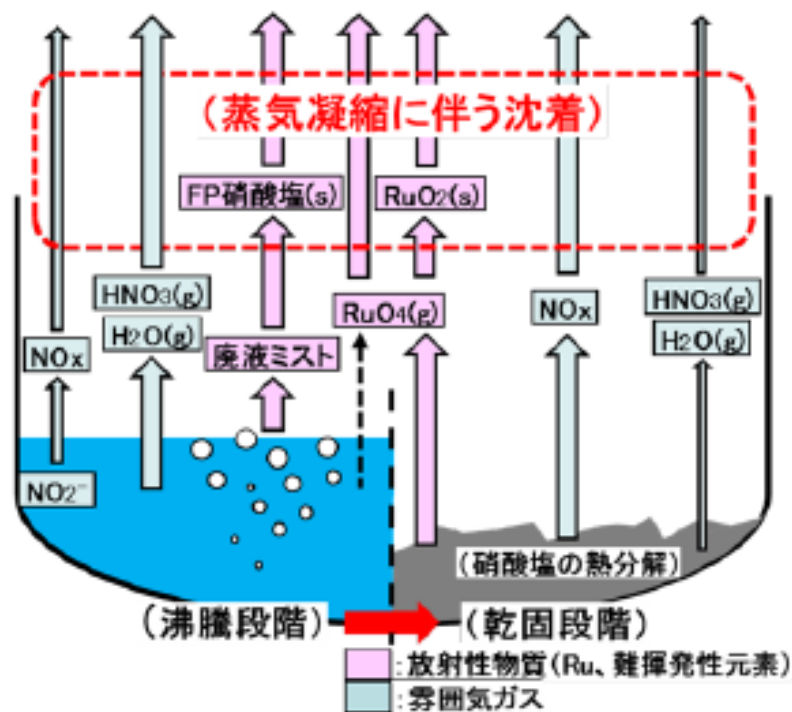
2. 目的

- 原子力規制検査制度における再処理施設及びMOX燃料加工施設のリスク情報に基づく検査に資することの一環として、より詳細なリスク評価結果を得るため、低頻度高影響の事象を含む重大事故等の事象進展シナリオを明確にすることを目的として以下の項目の技術的検討を行う。
 - (1) 蒸発乾固に関する放射性物質移行挙動
 - (2) GB火災に関する燃焼挙動
- 本プロジェクトで得られた知見及び評価ツールは、原子力規制検査制度に基づく再処理施設及びMOX加工施設の検査において、検査の優先度や検査結果に対する重要度を判断するため、事業者のリスク情報の妥当性確認に活用する。また、得られた知見は、リスク情報をまとめた検査資料や必要に応じて検査に係るガイドの参考情報として活用する。

3. 研究の概要(蒸発乾固(1/4))

【R2年度までに得られた知見】

- 蒸発乾固では「沸騰初期段階」、「沸騰晩期段階」、「乾固段階」及び「乾固後の温度上昇段階」といった事象進展に応じて、放射性物質の挙動や環境条件(蒸気・ガス組成等)が大きく変化する。
- R2年度までの研究では、高レベル濃縮廃液を対象に事象進展に応じて変化する環境条件に留意しつつ、主に「沸騰初期段階」、「沸騰晩期段階」及び「乾固段階」における「液相から気相への放射性物質移行挙動」及び「放出経路中での放射性物質移行挙動」に着目したデータを取得した。



蒸発乾固事故の事象進展に応じた放射性物質等の移行挙動の概念図⁽¹⁾

3. 研究の概要(蒸発乾固(2/4))

【R3年度以降に検討が必要な事項】

- R2年度までの研究成果として「沸騰初期段階」、「沸騰晩期段階」及び「乾固段階」における「液相から気相への放射性物質移行挙動」、「放出経路中での放射性物質移行挙動」等に関する一連の試験データ等を取得した。

⇒R3年度以降では、以下のデータを取得する必要がある。

- －「乾固後の温度上昇段階」の条件下に拡張したデータ
- －「沸騰初期段階」、「沸騰晩期段階」及び「乾固段階」において、最新の再処理施設の重大事故対策や実施環境を踏まえて想定される条件下に拡張したデータ
- －R2年度までの研究成果により、重要な現象であることが示唆された凝縮液へのRuの化学吸収効果について、この現象をより詳細に把握するためのデータの拡充

3. 研究の概要(蒸発乾固(3/4))

【R3年度以降の実施内容】

① 「沸騰初期段階」、「沸騰晩期段階」及び「乾固段階」において、最新の再処理施設の重大事故対策や実施環境を踏まえて想定される条件下に拡張したデータの取得

⇒ 実施条件(気相温度、NO_x等共存ガスの影響等)を考慮した揮発性Ruの熱分解試験

⇒ 揮発性Ruの気相移行抑制効果のある亜硝酸について、実施で想定される高濃度硝酸条件における亜硝酸効果把握試験及び亜硝酸濃度の変動把握試験

3. 研究の概要(蒸発乾固(4/4))

② 「乾固後の温度上昇段階」の条件下に拡張した放射性物質移行挙動データの取得

⇒乾固後の温度上昇段階を想定した準揮発性物質(Cs等)の挙動把握試験

⇒乾固物の温度挙動を把握するための乾固物物性値測定及び解析

③ 凝縮液へのRuの化学吸収効果について、この現象をより詳細に把握するためのデータの拡充

⇒凝縮液へのRuの化学吸収効果に関して、より広範な条件(亜硝酸濃度、温度等)下における化学吸収効果の把握試験

3. 研究の概要(GB火災(1/4))

【R2年度までに得られた知見】

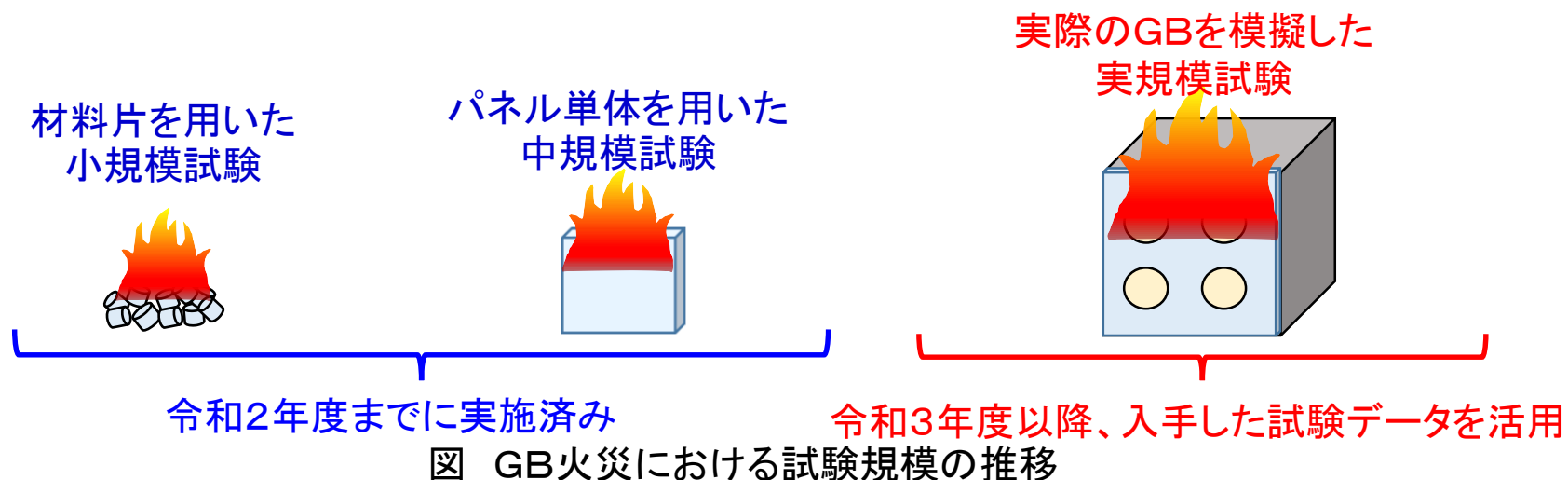
- GBを構成するパネル等の材料片を用いた小規模試験、パネル単体を用いた中規模試験等を実施
 - ⇒以下のデータを取得・分析し、科学的・技術的知見を収集・蓄積
 - パネル等の熱分解特性及び燃焼特性に関するデータ
 - 燃焼に伴って発生するばい煙等のフィルタへの影響に関するデータ
- IRSNが開発したSYLVIAコード(ゾーンモデルコード)及びCFDコードを用いて、GB火災について解析を実施
 - ⇒解析コードの適用に関する妥当性を確認
 - ⇒換気システムの影響を含めた火災進展に関する科学的・技術的知見を収集・蓄積

3. 研究の概要 (GB火災(2/4))

【R3年度以降に検討が必要な事項】

- GB火災の燃焼挙動は、GBの大きさ及び構成（材料パネルの設置位置等）にも大きく影響される。これは、GBパネルのスケール効果やGB内外の熱流動の影響が大きくなるためであり、実際のGB火災の事象進展に関する知見が必須である。

⇒ **実際のGBを模擬した実規模の試験データ**に基づく解析等により、当該知見を取得する必要がある。



3. 研究の概要(GB火災(3/4))

【R3年度以降の実施内容】

- MOX燃料加工施設等のGB火災を想定し、実規模のGB火災試験データ等※に基づく解析等により、GB火災の事象進展に関する知見を得るとともに、火災事象進展シナリオを評価するための解析手法を整備する。
- 本解析は、実規模GB火災の挙動等に関する知見の分析により抽出した課題を踏まえて実施する。(分析の対象及び解析項目は次ページ参照。)

※実規模のGB火災試験データ等は、主にIRSNと原子力規制庁との間で締結された協定「RESEARCH AGREEMENT ON THE IRSN GLOVE BOX FIRES PROGRAM」に基づいて2019年から2023年の期間で実施されているGB火災試験(FIGAROプロジェクト)で得られる試験データ等を活用する。

3. 研究の概要 (GB火災(4/4))

- 分析の対象
 - 換気系統の影響下における中規模GB火災の挙動
 - 開放空間における実規模GB火災の挙動
 - 換気系統の影響下における実規模GB火災の挙動
 - 核燃料物質(粉末)への火勢の影響
 - GBパネル材の燃焼挙動

- 解析項目
 - 換気系統の影響下における中規模GB火災
 - 開放空間における実規模GB火災
 - 換気系統の影響下における実規模GB火災

4. 研究計画(行程表(1/2))

(1) 蒸発乾固

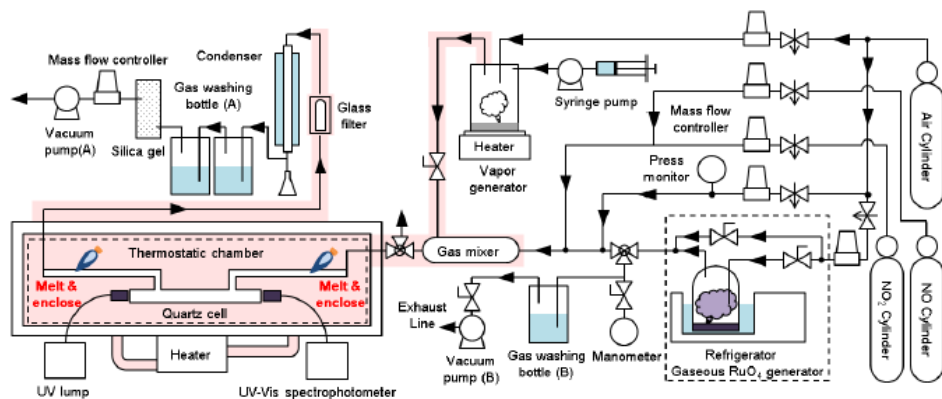
R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度
<p>・実施設条件を踏まえた放射性物質移行挙動の把握</p>				
<p>試験条件の検討、 試験装置の整備、 予備試験</p> <p>・準揮発性物質の移行挙動等の把握</p>	<p>気相温度及びNO_x 等共存ガスに着目 した熱分解試験</p>	<p>気相温度及びNO_x 等共存ガスに着目 したエアロゾル生成 挙動把握試験</p>	<p>高濃度硝酸条件に おける亜硝酸効果 把握試験</p>	<p>液の亜硝酸濃度 変動試験</p>
<p>試験条件の検討、 試験装置の整備、 予備試験・解析</p> <p>・凝縮液へのRuの化学吸収効果の把握</p>	<p>Csの移行挙動に着 目した試験</p>	<p>Csの移行挙動に関 するTc等の影響に 着目した試験</p>	<p>放出経路中のRuの 再揮発に着目した 試験</p>	<p>乾固物の物性値 測定及び乾固物 の温度挙動解析</p>
<p>試験条件の検討、 試験装置の整備、 予備試験</p>	<p>液の亜硝酸濃度に 着目した試験</p>	<p>液の温度に着目し た試験</p>	<p>液の組成に着目し た試験</p>	<p>Ruの化学吸収 反応及びその反 応速度の検討</p> <p>・各事象進展段階 に応じたデータ整理</p> <p>▽ 論文投稿 リスク評価モデルの 妥当性確認に活用</p>

4. 研究計画(行程表(2/2))

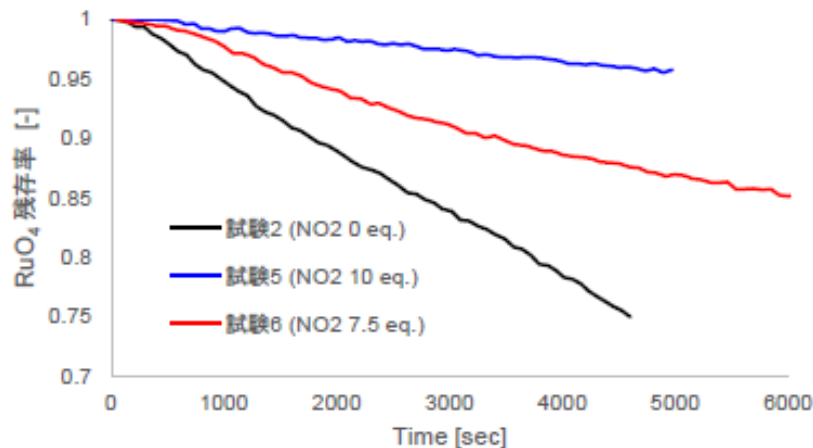
(2) GB火災

R3年度	R4年度	R5年度	R6年度	R7年度
・GB火災の挙動に関する知見の分析、課題の抽出				
・抽出した課題を踏まえた解析				
開放空間における 中規模GB火災解析	換気系統の影響下 における中規模GB 火災解析	開放空間における 実規模GB火災解析	換気系統の影響下 における実規模GB 火災解析	換気系統の影響 下における実規模 GB火災解析
				火災事象進展シナ リオを評価するた めの解析手法の整備
				論文投稿 リスク評価モデルの 妥当性確認に活用

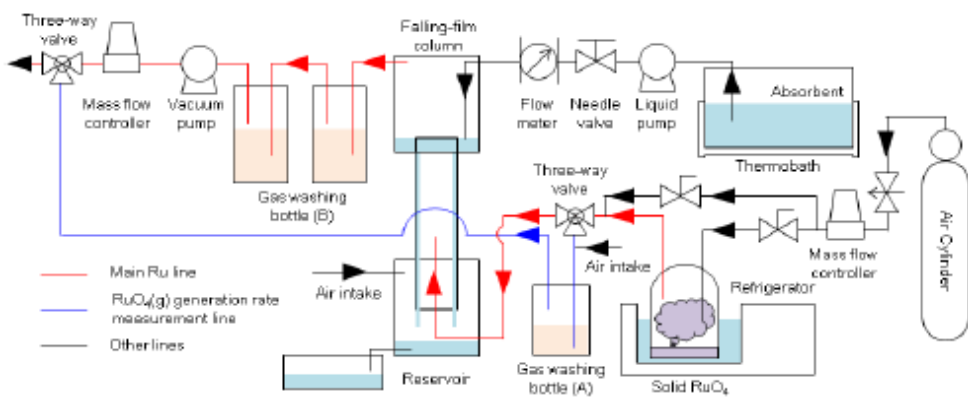
参考:R2年度までに得られた知見の一例(蒸発乾固)



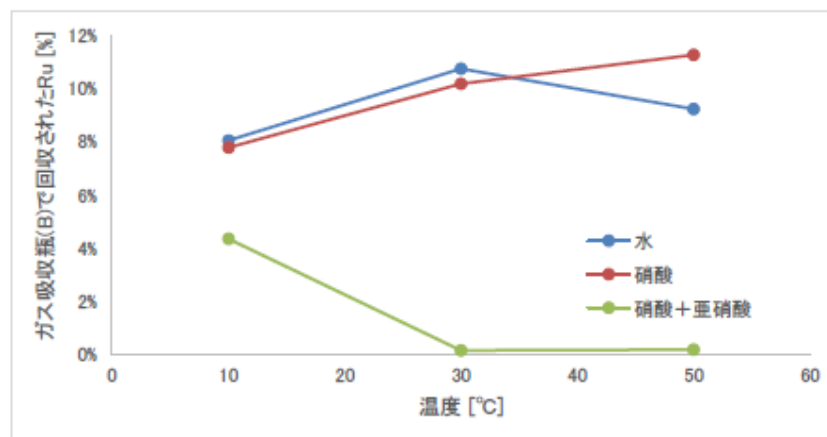
RuO₄(g)の熱分解挙動等を把握するための装置概略図⁽²⁾



RuO₄(g)の熱分解挙動等に関する試験結果の一例(温度を120℃とし、NO₂量をパラメータ)⁽²⁾



RuO₄(g)の化学吸収効果を把握するための装置概略図⁽³⁾



RuO₄(g)の液相移行に関する試験結果の例(液の種類をパラメータ)⁽³⁾

(2) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、平成30年度原子力規制庁委託成果報告書再処理施設内での放射性物質の移行挙動に係る試験等、平成31年3月

(3) 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構、平成31年度原子力規制庁委託成果報告書再処理施設内での放射性物質の移行挙動に係る試験等、令和2年3月

参考：R2年度までに得られた知見の一例（GB火災）



図 中規模火災試験装置の外観⁽⁴⁾

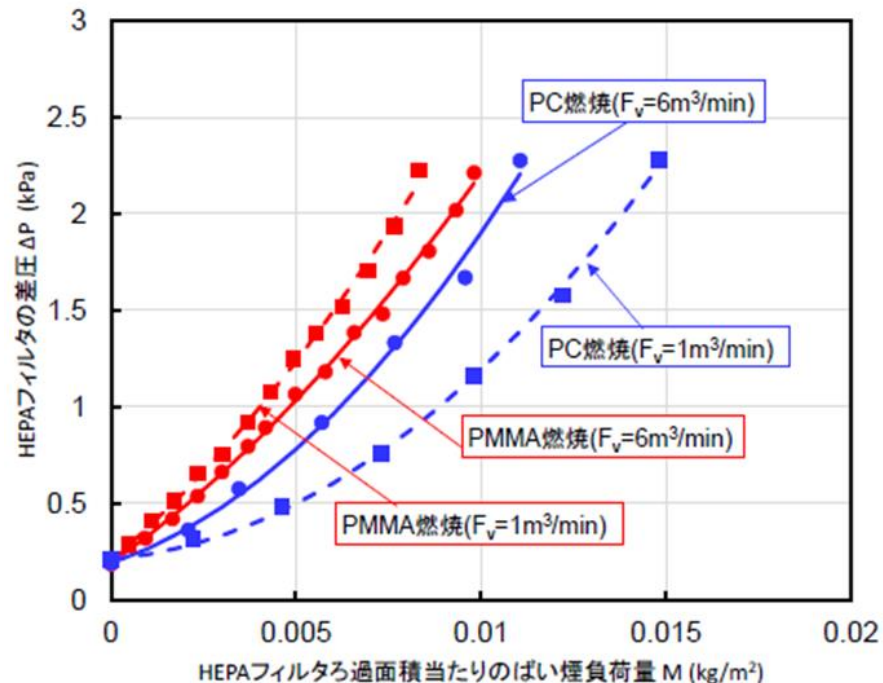


図 GB火災試験結果の一例⁽⁴⁾