

資料1
科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会
原子力科学技術委員会
原子力研究開発・基盤・人材作業部会（第23回）
R6.7.5

「常陽」への新燃料確保・供給

令和6年7月5日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

◆ 国内の次世代革新炉開発（カーボンニュートラル、原子力の持続可能性への貢献）

- ✓ 高速炉における経済性に優れた燃料の照射試験*1
 - 長期間安全に利用できる燃料の開発
- ✓ 放射性廃棄物の有害度を低減するための照射試験*2
 - 半減期が長く、発熱量が大きい放射性物質の影響を短縮するための研究開発

*1 高速炉における、高度化燃料・材料（長寿命化等）の性能や健全性を実証する照射試験

*2 高レベル放射性廃棄物に含まれるアメリシウム(Am)、ネプツニウム(Np)等のマイナーアクチノイド (MA)は、長期に放射線や熱を出し続けるため、廃棄物対策の課題となる。燃料サイクル内でのMAサイクル技術の実証を目指し、大洗・東海の研究施設を用いて、使用済燃料からのMAの回収、MAを含んだ燃料の製造、「常陽」での照射を実施。

◆ 新しい医療への貢献

- ✓ 先進がん治療のための医療用ラジオアイソトープ（アクチニウム225）の製造*3
 - がん細胞だけを選択的に放射線で攻撃できる薬剤の研究開発への貢献

*3 原子力委員会にて「医療用等ラジオアイソトープ製造・利用推進 アクションプラン」を取りまとめ（2022年5月）

◆ 国際協力、大学等との共同研究、若手研究者・技術者の育成

高速炉開発に向けた「常陽」への期待

高速炉では、**経済性**や高速炉の意義である**環境負荷低減性**を実証することが重要

【経済性】

- 燃料を長期間使用（高燃焼度化）することで、燃料製造や再処理の体数を低減
- より高温での使用が可能な燃料とすることで、冷却材出口温度の高温化が可能となり、発電効率が向上

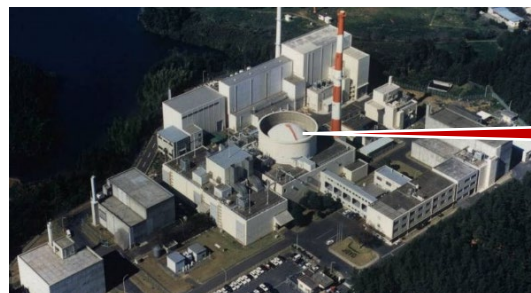
→ **高性能・高燃焼度燃料の開発**

【環境負荷低減性】

- 放射性毒性が強く、半減期の極めて長いマイナーアクチノイド（MA）を高レベル放射性廃棄物から分離し、燃料として使用することで廃棄物の減容・有害度の低減が可能

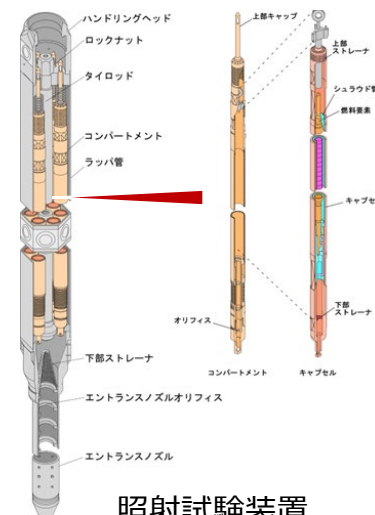
→ **MA含有燃料の開発**

- これらの燃料を開発し、高速炉の燃料として適用するためには、「常陽」での照射試験による許認可データの取得、健全性実証が重要



高速実験炉「常陽」

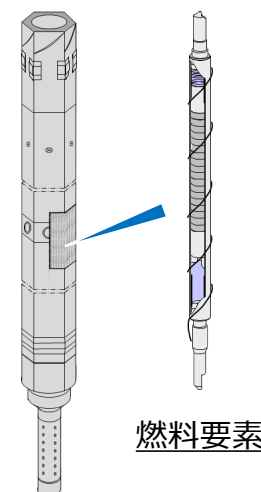
「常陽」で実証
実証炉へ反映



照射試験装置



実証炉のプラント像



燃料要素

燃料集合体

(三菱重工技報 Vol.57 No.4 (2020) 原子力特集より引用)

「経済産業省受託事業 令和元年度 高速炉の国際協力等に関する技術開発」より

(1) 経済性向上技術

● 太径中空燃料の健全性実証

- ・「常陽」、仏Phenix、米EBR-II、英PFR等で照射実績あり
- ➔ 実証炉の初装荷燃料からの適用を目指す技術であり、照射試験による照射挙動データ取得、健全性実証が必要

● 長寿命炉心材料の開発

- ・ ODS鋼被覆管の製造に成功し、世界最高レベルのクリープ強度を長時間維持することを実証。量産技術開発を実施中
- ➔ 量産技術開発、基準類整備の継続に加え、材料照射試験、燃料照射試験による照射挙動データ取得、性能実証が必要

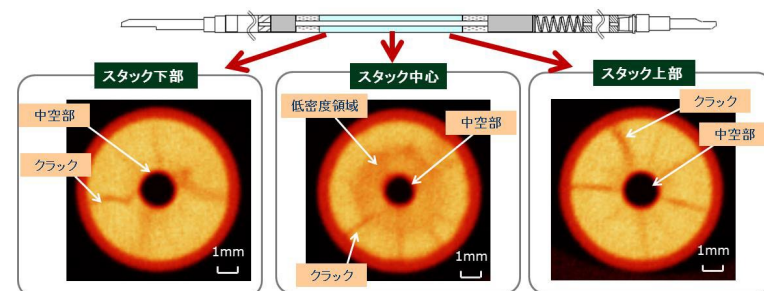
(2) 環境負荷低減性

● MA含有燃料の照射特性評価、健全性実証

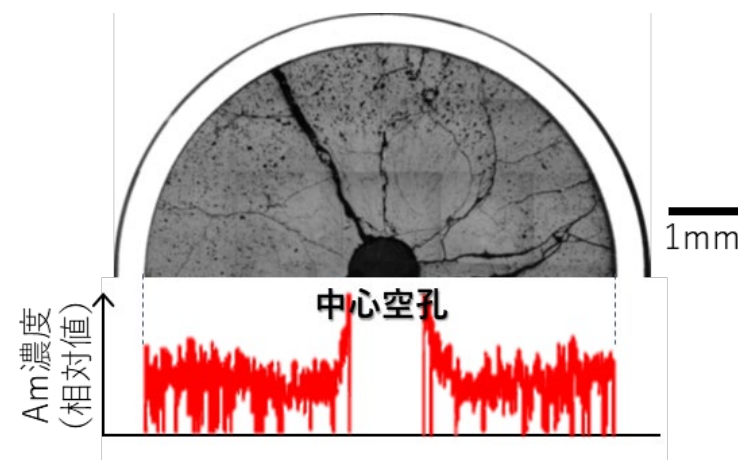
- ・ MA含有燃料（5%Am、2%Np-2%Am）を製造し、「常陽」で短期高線出力試験を実施。燃焼初期の熱的挙動、MA再分布挙動等に係るデータを取得
- ➔ 長期照射試験により、MAを燃料として利用できることを実証するとともに、照射挙動データ取得、健全性実証が必要

☞ 「常陽」の活用等、継続的な照射試験が必要

☞ 被覆管をはじめとする炉心材料のサプライチェーンの再構築が重要

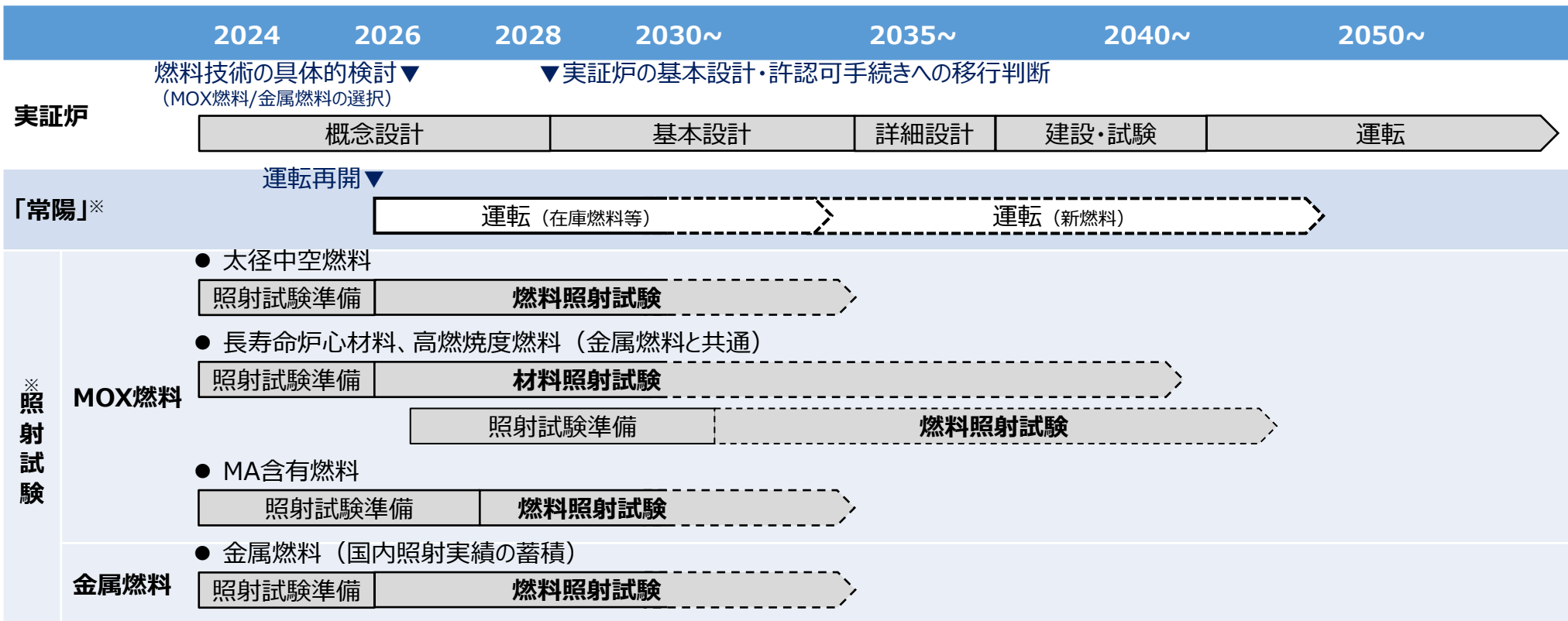


「常陽」における太径中空燃料の
照射挙動データの取得例
(太径中空燃料の照射後のX線CT結果)



MA含有MOX燃料のAm再分布挙動
(5%Am含有MOX燃料、24時間照射)

「常陽」運転計画イメージ



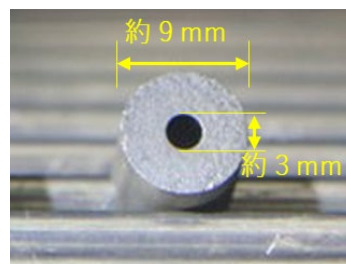
※点線部は現時点で明確な時期の見通しが得られていない内容。また、照射試験には照射後試験は含んでいない

- 「常陽」の当面の運転は在庫燃料等で可能だが、高速炉の実用化に向けた技術実証のためには中長期的な燃料技術開発が重要であり、そのためには**新燃料確保・供給が必要**な見通し

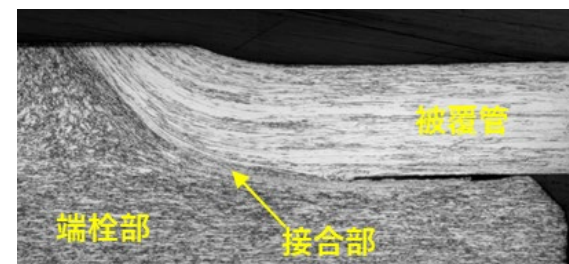
(1) 経済性向上技術

● 中空ペレット量産技術開発

- Pu-3での短期的な試験において、約40kg-MOXの処理を実施し、技術的成立性は確認済
- ➔ 品質の安定性、検査技術を含め、量産規模での技術実証が必要



Pu-3で製造した
MOX中空ペレット



ODS鋼被覆管の抵抗溶接技術

● ODS鋼被覆管を適用した燃料ピン製造技術開発

- 従来のTIG溶接とは異なる加圧抵抗溶接を用いた製造技術（端栓溶接技術）を開発
- ➔ 品質検査を含め、量産規模での技術実証を進めるとともに、照射試験燃料の製造が必要

(2) 環境負荷低減性

● MA含有燃料のセル内遠隔製造技術開発

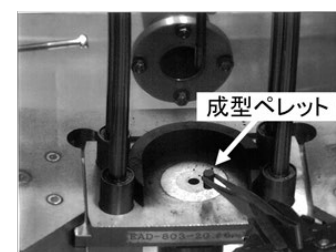
- AGFのコンクリートセル内に整備した小規模の燃料製造設備を用いた技術開発により、基本的なセル内遠隔製造技術を確立。照射試験用MA含有MOX燃料ピンを製造
- セル内遠隔製造設備のモックアップ試験を部分的に実施
- ➔ MA含有燃料ペレットを遠隔自動で低コストで製造するための技術開発と、その製造設備の遠隔保守・補修技術の実証が必要
- ➔ 再処理における低コストでのMA抽出技術の開発とその技術実証が必要



原料粉末の混合粉碎



燃料ピン溶接・検査装置



燃料ペレットの成型

高速炉MOX燃料の実用化に向けて、インフラの維持・整備等を含めた量産規模の燃料製造技術開発が重要

MA含有MOX燃料のセル内遠隔製造 (AGF)

高速炉燃料の実用化には、酸化物燃料/金属燃料にかかわらず、以下の課題がある。

- 照射挙動データの取得や照射下における燃料健全性の実証が重要となることから、「常陽」照射試験の継続的な実施が必要であり、「常陽」運転再開後の安定・継続的な運転が重要。「常陽」の当面の運転は在庫燃料等で可能だが、高速炉の実用化に向けた技術実証のためには中長期的な燃料開発が重要であり、そのためには**「常陽」への新燃料確保・供給が必要**な見通し。
- 燃料の高性能化・高燃焼度化やMA含有燃料の実現が重要であり、それら燃料の**量産性を考慮した製造技術開発**を進める必要がある。

- ▣ 「常陽」での照射試験を継続するため、**「常陽」への新燃料確保・供給が必要**
- ▣ 高性能・高燃焼度燃料やMA含有燃料の技術開発を行うための**技術開発環境の整備**が重要

新燃料の確保・供給方策（1/2）

《海外調達》

- 各国の高速炉燃料製造の現状を踏まえ、技術的成立性、許認可性、国際情勢等を考慮すると、現時点では現仕様に合致する燃料の調達が困難な見通し。

各国の高速炉燃料製造の現状

国	会社 / 施設	燃料	製造能力 (tHM/年)	操業開始年	備考
フランス	CEA / CFCa	MOX（ペレット）	20	1962	- Phenix, SPX用燃料 2005年廃止
	Orano / MELOX ^{*1}	軽水炉用MOX（ペレット）	195	1995	
アメリカ	INL / FMF	金属（U-Zr）	<4 (~20kg/日)	1989	- EBR-II 用燃料 - 現在は試験燃料製造等に転用
	GNF-A&TP等 / Sodium 炉向け燃料製造施設	金属（U-Zr）	—	計画中	HALEU原料^{*2}を適用予定
	— / VTR向け燃料製造施設	金属（U-Pu-Zr）	—	計画中	
ロシア	RIAR / ERC	MOX（バイパック）	1	1975	BOR-60、BN-800
	PA Mayak / PAKET	MOX（ペレット）	0.5	1980	BN-800
	MCC / MFFF	MOX（ペレット）	60	2015	BN-800（、BN-1200）
インド	BARC / AFFF	MOX（ペレット）	20	1994	FBTR、PFBR
	IGCAR / FRFCF	MOX（ペレット）	7.5	建設中	2027年完成予定

*1 軽水炉用MOX燃料製造施設であり、参考として掲載、

*2 高純度低濃縮ウラン（²³⁵U < 20%）

※中国（CEFR、CFR-600）は高濃縮ウラン燃料をロシアから輸入

《既存施設の活用（プルトニウム燃料第3開発室（Pu-3）の例）》

- Pu-3は、「常陽」燃料製造の実績があり、使用施設としての安全性は確認されているものの、今後、新たに「常陽」燃料を製造しようとする場合には、建設から約40年が経過し老朽化していることに加え、新規規制基準に適合した「加工事業」の取得が必要となる。
- 加工事業の取得には、最新の建築基準法を踏まえた大規模な耐震補強工事、新規規制基準適合のための火災対策として部屋毎に新たな延焼防止ダンパや防火シャッター等の設置工事が必要となる可能性があるが、既設ホット施設では現実的な対応が困難である。
- 更に、建設当時の施設検査では求められなかった材料証明等の記録、使用前検査データが不足しており、規制要件を満たせない可能性がある。

■ 現時点、現在の仕様の燃料の場合、海外調達、既存施設の活用は困難な見通しであり、高速炉燃料に関する課題を解決するためには、**新規に施設を整備することを視野の中心に据えて考えることが必要**

高性能・高燃焼度燃料やMA含有燃料の技術開発機能を備えた 燃料製造施設のイメージと課題

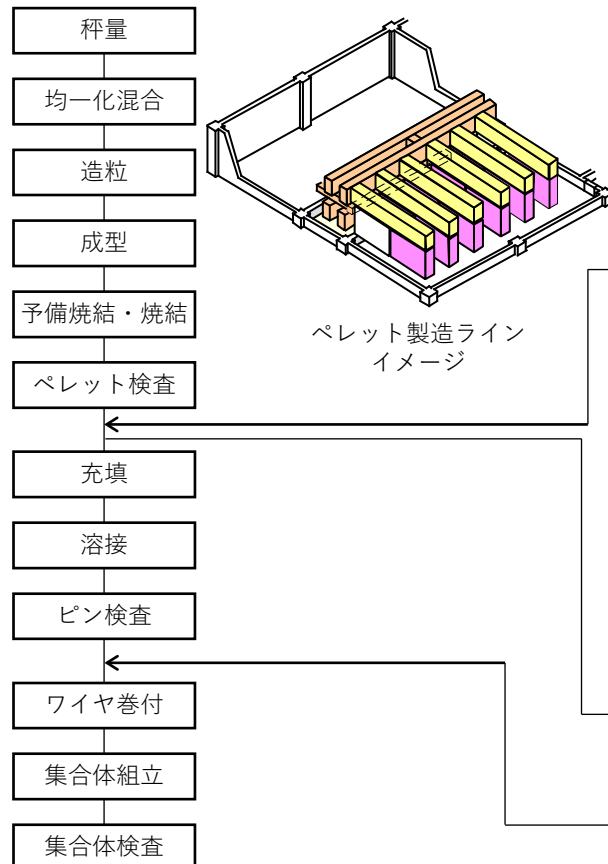
施設イメージ案

- 許認可区分：加工施設
- 施設規模：約L60m×W60m 階層構造
- 年間製造能力：約0.5tMOX
(ロットサイズ：40kg-MOX)
- 安全設計：耐震Bクラス
(ただし、グレーデッドアプローチ適用が前提)
- 機能：「常陽」燃料製造
燃料製造技術開発
高性能燃料製造技術開発
MA含有燃料製造技術開発

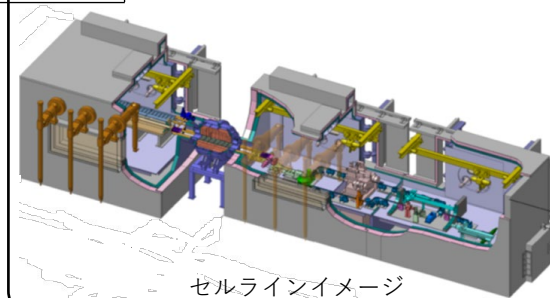
施設の課題

- ・ 予算の確保
- ・ グレーデッドアプローチの適用（規制改正）

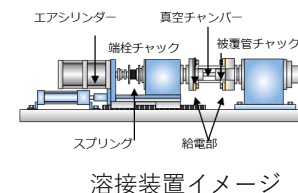
「常陽」燃料製造 燃料製造技術開発



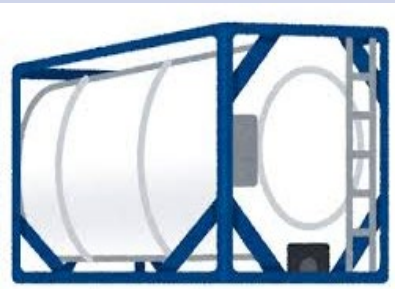
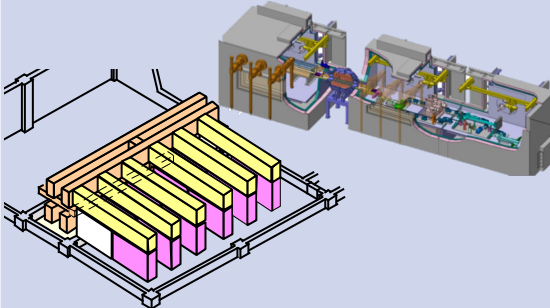
MA含有燃料製造技術開発



高性能燃料製造 技術開発



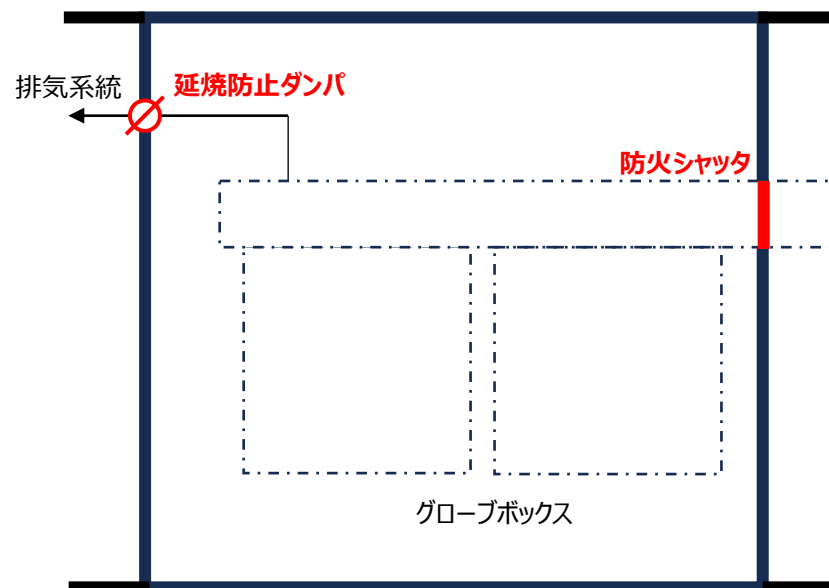
「常陽」の燃料確保・供給オプション

確保・供給 オプション	海外調達	既設施設の活用 [Pu-3 の例]	新規施設の整備
対応方策	 高速炉燃料の製造実績・予定を有する国より調達	 高速炉燃料の製造・取扱い実績を有する施設を活用	 「常陽」の燃料確保・供給可能な設備あるいは、これに高速炉燃料の技術開発機能を追加した設備を整備
状況	各国の高速炉燃料製造の現状を踏まえ、技術的成立性、許認可性、国際情勢等を考慮すると、現時点では海外調達は困難	加工事業の許可の取得が必要となるが、既設施設・設備の新規制基準に適合するための改造及び使用前検査データの整備は難しく、規制要件を満たせない可能性がある	プルトニウムの取扱量が限定的な小規模の燃料加工施設としてリスクに応じた科学的・合理的な規制とするグレーデッドアップアプローチによる許認可を目指す
許認可	不明	非常に困難な可能性	新規制基準を前提とした施設・設備を整備
予算規模	不明	新規施設整備を超える可能性	数百億円規模を想定 (開発項目にも依存)

- 「常陽」は、経済性を向上させる高性能・高燃焼度燃料及び環境負荷低減に貢献するMA含有燃料に係る照射試験により許認可データを取得して、高速炉開発に貢献することが期待される。
- 高速炉燃料の実用化には、「常陽」での照射試験を継続するために、「常陽」への新燃料確保・供給が必要。
- 「常陽」燃料について既存施設での燃料製造や海外調達が困難な状況が考えられるため、新規の「燃料製造施設」の整備を視野の中心に据えて検討を進めたい。
- 実証炉の燃料としてMOX燃料が選定される場合には、高性能・高燃焼度燃料やMA含有燃料の量産に向けた技術開発環境の整備が必要になるが、既存施設の改造で対応するか、新規の「燃料製造施設」を整備して「高性能・高燃焼度燃料やMA含有燃料の技術開発」機能を合わせ持たせるか等の検討を行う必要がある。なお、金属燃料が選定された場合には、改めて進め方の見直しが必要である。
- 新規の「燃料製造施設」の整備等には、予算確保、グレーデッドアプローチ適用などの課題がある。これらの課題解決に向け、関係省庁と連携しつつ、検討を進める。

(参考) 火災区域のイメージ

- 加工施設では、米国の「放射性物質取扱施設の火災防護に関する基準」（NFPA801）を参考に、火災防護上の区域（火災区域）を設定することが求められる。
- 火災区域は、当該区域で発生した火災が隣室へ延焼することを防止するため、耐火壁（耐火扉、延焼防止ダンパ、防火シャッタなど）により隣室と分離する対策が必要となる。
- 稼働中のPu-3では、グローブボックス排気系統への延焼防止ダンパの設置、グローブボックスへの防火シャッタの設置は現実的に不可能。



火災区域のイメージ