参考資料3－1－4 ④プラント運転・保守技術
高速増殖炉発電プラントの運転管理技術（2/2）

細　目	性能試験	2Cy	3Cy	4Cy	5Cy ～9Cy	10Cy以降
「もんじゅ」工程案 （検討の前提条件）	40%出力プラント確認試験 / 燃料交換 / 出力上昇試験第1サイクル	定期点検 / 第2サイクル	定期点検 / 第3サイクル	定期点検 / 第4サイクル	定期点検 / 第5 / 定期点検 / 第6 / 定期点検 / 第7 / 定期点検 / 第8 / 定期点検 / 第9	定期点検 / 第10 / ・・・
運転管理技術 ①運転手法（運転手順書類）の整備	試験等に基づく運転手順書類の改正		サイクル運転及び定期点検等のプラント運転での運転経験に基づく運転手順書類の改正			
②保安規定（運転管理）の整備	保安規定の運用					
	保安規定の整備					
③異常診断技術開発	データ収録法の検討及び試験データ取得					
	試験データからのプラント特徴抽出と前回性能試験データとの比較					
			40、75、100%出力データ比較			
			FBR異常診断手法の検討			
期待される研究開発成果	②40％出力プラント確認試験で課題の有無を確認し、保安規定を整備する。	①「もんじゅ」プラントの通常起動／停止、定格出力運転の運転手順、異常時／故障時の運転手順の確立 ③40％出力時の「もんじゅ」のプロセスデータの特性	②出力上昇試験結果等から、課題の有無を確認し、必要に応じて保安規定を整備する。運転サイクル及び定期点検を通して保安規定を検証する。 ③40％出力時の「もんじゅ」のプロセスデータの経年変化	③75％、100％出力時の「もんじゅ」のプロセスデータ特性	①サイクル運転での運転経験を反映したプラントの通常起動／停止、定格出力運転の運転手順、異常時／故障時の運転手順の改善結果 ②運転経験を蓄積し、FBRとしての保安規定を確立する。 ③FBR用異常診断手法	

参考資料3－2－1　①燃料製造技術
MOX燃料製造プロセス開発（1/2）

（1）MA含有MOXペレット製造プロセス技術

　すでに確立しているMOXペレット製造プロセス技術を基にして、MA添加やPu富化度増加を行った場合のペレット製造上の影響を評価し、均質サイクル用MA含有MOX燃料ペレットを安定した品質で製造するためのプロセス技術を開発する。

（2）燃料発熱対策技術

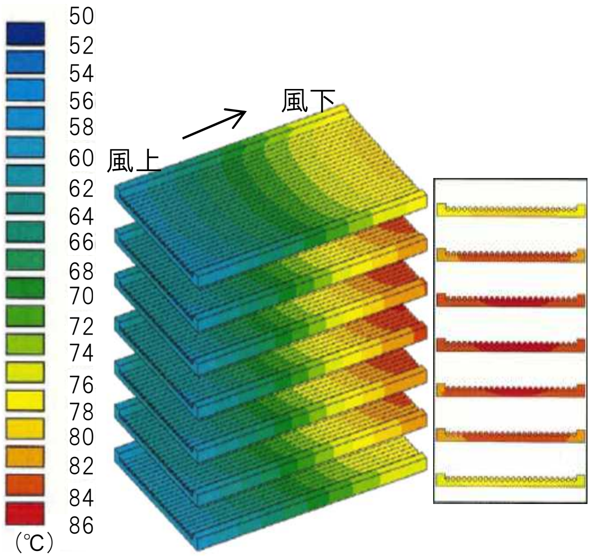
　混合機･粉末容器･保管庫等を対象に温度評価を実施し、熱による燃料の品質（物性）の変化を防ぐための除熱技術を開発する。

（3）高線量下燃料検査技術

　現行の自動化製造設備において、放射線強度増加による検査、測定機器の放射線劣化の程度を評価するとともに、より耐放射線性に優れた検査技術を開発する。

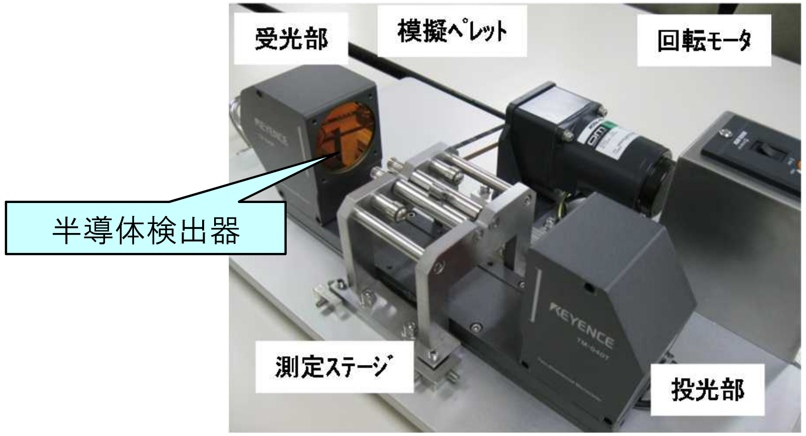
（4）乾式リサイクル技術

　MOX燃料ペレット製造に伴い発生するスクラップを原料としてリサイクル利用するための粉砕および均一化混合の能力向上を図るとともに、スクラップから不純物や異物を除去する乾式前処理技術を開発する。



ペレット貯蔵容器を強制冷却した時の温度分布評価結果例

乾式リサイクル技術



中空ペレット内径測定装置
（測定試験機）

参考資料3－2－1　①燃料製造技術
MOX燃料製造プロセス開発（2/2）

細　目	5年	10年
①MA含有MOXペレット製造プロセス技術	製造準備/MA含有MOXペレット製造試験 → 照射試験	
②燃料発熱対策技術	温度評価 / 試験装置の設計・製作・試験 / 評価 除熱方法検討	
③高線量下燃料検査技術	技術調査 / 試験装置の設計・製作・試験 / 評価	
④乾式リサイクル技術	技術調査 / 設備設計 / 設備製作 各種基礎試験（ホット・コールド試験）→ 設備設計	試験データの蓄積 開発技術の有効性評価
期待される研究開発成果	①～④ • 現在のMOX製造システムの高度化によるMA含有MOX燃料製造システム概念と対応可能な燃料組成範囲の評価 • MOX燃料製造用簡素化ペレット法のシステム概念とMA含有MOX燃料製造への適用方策案	①～④ 簡素化ペレット法を適用したMA含有MOX燃料製造システムの概念と対応可能な燃料組成範囲の評価

参考資料３－２－１　①燃料製造技術
簡素化ペレット法のMA含有燃料製造への適用性検討（1/2）

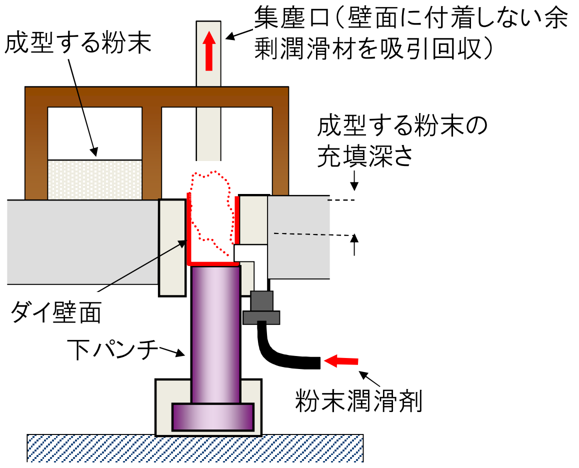
（１）原料粉末調整技術

　小規模MOX試験により、造粒・整粒技術の確立を図るとともに、小規模MA試験により、粉末調整へのMAの影響を評価する。

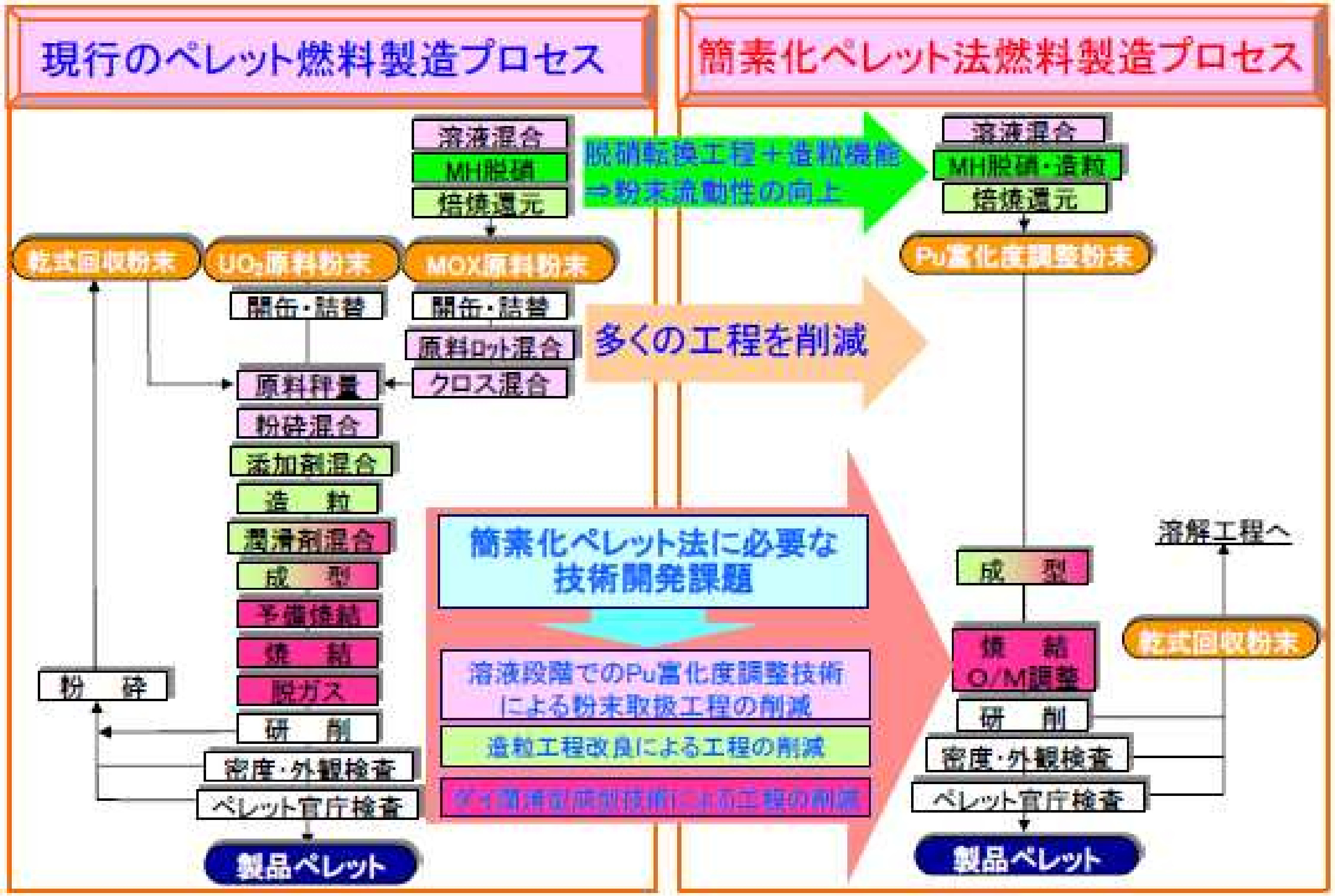
　さらに、原料粉調製工程で発生するスクラップを再利用する技術として、難溶解の高Pu含有MOXを溶解するための技術を開発する。

（２）ダイ潤滑成型技術

　小規模MOX試験及び小規模MA試験で得られた造粒粉末を用いた成型試験により、粉末特性と充填・成型性の相関データを得るとともに、離散要素法によるシミュレーションと合わせて、ダイ潤滑・成型技術を開発し、設備の改良設計に反映する。



ダイ潤滑成型



(3)焼結・O/M調整技術

　小規模MOX試験及び小規模MA試験で得られた成型体を用いて、燃料組成、粉末特性、熱処理条件、焼結特性等の関係を評価し、バラツキの少ない焼結　密度、均一な低O/M比のMOX燃料ペレットを調製する熱処理技術を開発する。

参考資料3－2－1　①燃料製造技術
簡素化ペレット法のMA含有燃料製造への適用性検討（2/2）

細　目	〜5年	〜10年
① 原料粉末調整技術	造粒・整粒技術開発、特性評価	
	MA含有溶液の脱硝・造粒・特性評価試験	
	一元化処理基礎試験 → 設計・製作 → 造粒試験・評価	試験データの蓄積 → まとめ
	スクラップ再利用基礎試験 → 評価 → 小規模試験の検討、設備設計	小規模試験設備整備 → 小規模試験 → まとめ
② ダイ潤滑成型技術	造粒粉末特性評価・シミュレーション技術開発	
	充填、潤滑、成型性確認試験 → 改良設計・設備改良・試験・評価	試験データの蓄積 → まとめ
③ 焼結・O/M調整技術	収縮率、O/M変化の評価試験 → 熱処理条件の評価・解析	試験データの蓄積・評価
	炉内ガス流動解析・熱処理炉設計	
期待される研究開発成果	①〜③ ・現在のMOX製造システムの高度化によるMA含有MOX燃料製造システム概念と対応可能な燃料組成範囲の評価 ・MOX燃料製造用簡素化ペレット法のシステム概念とMA含有MOX燃料製造への適用方策案	①〜③ 簡素化ペレット法を適用したMA含有MOX燃料製造システムの概念と対応可能な燃料組成範囲の評価

参考資料３－２－１　①燃料製造技術
遠隔自動製造設備の高度化（１/２）

遠隔自動運転、直接保守の製造システムによりMA含有MOX燃料等を製造する場合は、作業員の保守、補修時の被ばく線量の低減化のため、保守・補修作業時の作業性向上、燃料製造自動化設備の運転信頼性向上及び作業環境の空間線量率低下が必要である。

（１）保守・補修性の向上

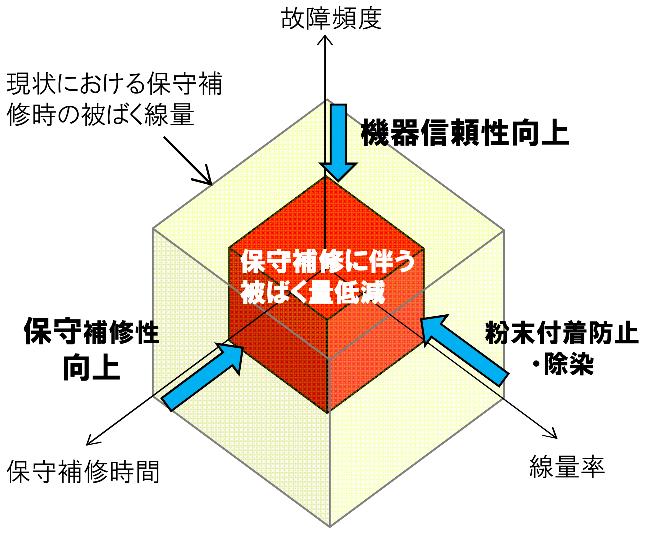
燃料製造自動化設備の保守、補修に必要な作業時間の短縮のための設備開発、保守方法の改良を行う。また、設備が重故障に進展する前の段階で、設備異常をモニタリングできる診断技術を開発する。

（２）設備信頼性の高度化

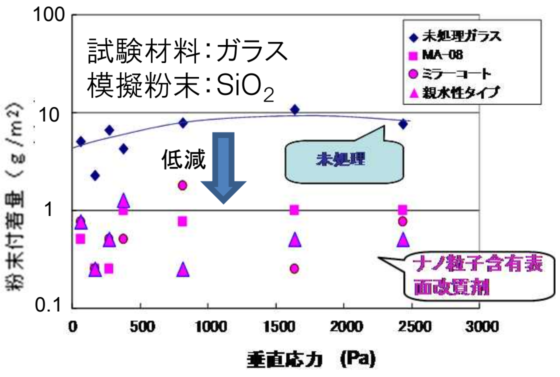
現行の燃料製造システムでMA含有MOX燃料等を製造する場合に、燃料製造設備の運転が極力停止しない高信頼性設備を得るために必要なペレット搬送、取扱いシステムの高度化を図る。

（３）粉末付着防止・除染技術

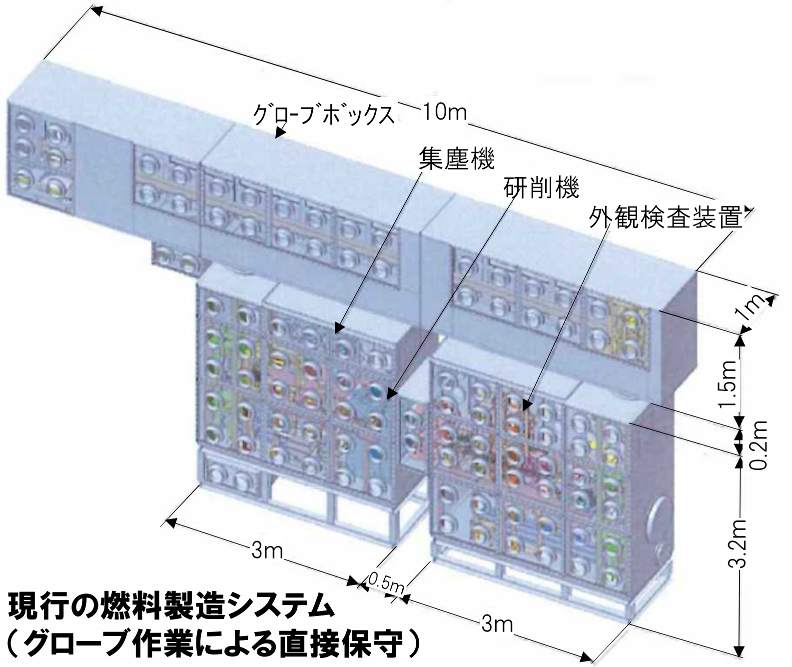
設備の保守・補修作業時等のグローブボックスの表面線量率の低減化を図るために、燃料製造設備に付着する燃料粉末を極力抑え、付着した粉末が容易に除去回収できる技術を開発する。



保守補修に伴う作業者の被ばく線量の低減イメージ図



ナノ粒子含有表面改質剤の塗布による粉末付着量の低減効果



現行の燃料製造システム
（グローブ作業による直接保守）

参考資料3－2－1　①燃料製造技術
遠隔自動製造設備の高度化（2/2）

細　目	5年	10年
① 遠隔保守技術 （被ばく線量の低減化）	付加する遠隔技術の摘出 → 試験装置の設計・製作・試験 → 評価	
② 設備信頼性の高度化技術	設備異常モニタリング技術の調査 → 試験装置の設計・製作・試験 → 評価 技術調査 → 試験装置の設計・製作・試験 → 評価	
③ 粉末付着防止・除染技術	付着防止・除染技術の調査 → 試験装置の設計・製作・試験 → 評価	開発した技術の有効性確認・評価
期待される研究開発成果	①～③ • 現在のMOX製造システムの高度化によるMA含有MOX燃料製造システム概念と対応可能な燃料組成範囲の評価 • MOX燃料製造用簡素化ペレット法のシステム概念とMA含有MOX燃料製造への適用方策案	①～③ 簡素化ペレット法を適用したMA含有MOX燃料製造システムの概念と対応可能な燃料組成範囲の評価

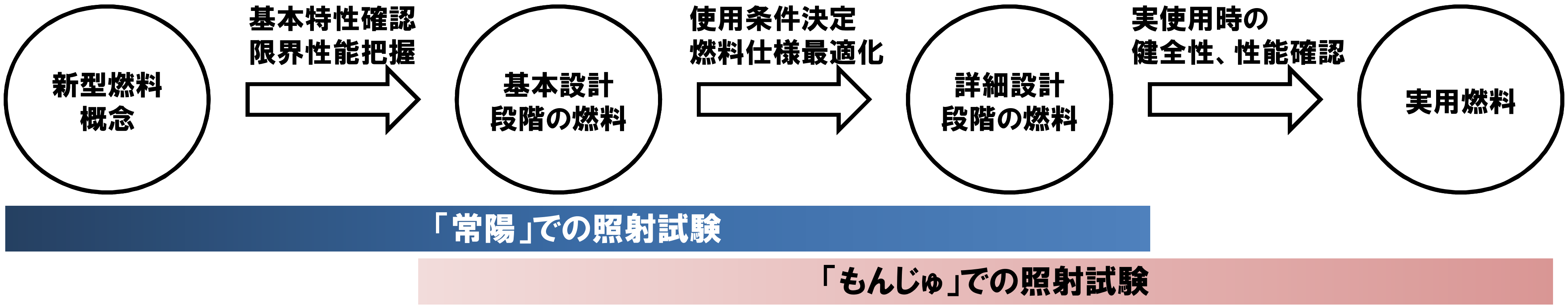
「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（1/7）

○「常陽」

- **実施可能な照射試験**
  - カプセル照射、特殊容器内での照射による新概念燃料の照射特性の確認
  - 限界条件での試験による燃料の限界性能の確認
  - 短尺燃料の比較照射による燃料仕様（燃料組成、密度、寸法等）や照射条件（線出力、燃焼度、被覆管温度、高速中性子照射量等）と燃料挙動との相関関係を確認
- **新概念燃料の開発、基本設計（燃料仕様や照射条件設定）に利用**

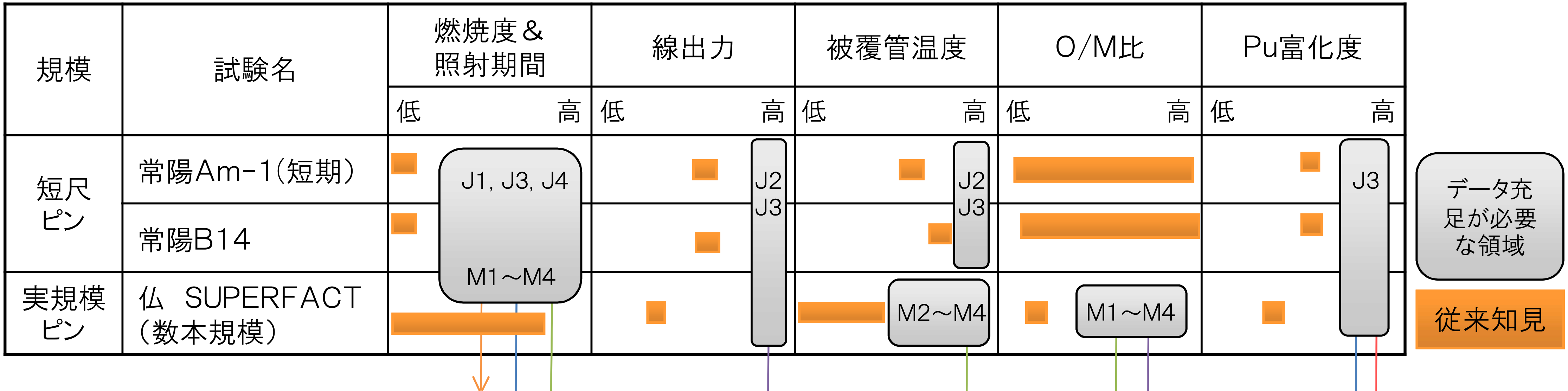
○「もんじゅ」

- **実施可能な照射試験**
  - 実規模燃料集合体の定常条件での照射
  - 試験燃料ピンを組み入れた実規模燃料集合体の定常条件での照射
- **基本概念が確立した燃料の設計妥当性確認に利用**



参考資料3－2－2　②照射試験及び燃料材料開発

「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（2/7）



①MA変換データの取得　実機炉心でのMA核変換分析データを取得する必要。

②ヘリウム効果　MA含有、高Pu富化度化に伴うHeガス生成量増加による影響を確認する必要。（特に実規模ピン）

③破損防止　高燃焼度範囲、高被覆管温度で、O/M比依存性を考慮した被覆管内面腐食挙動を確認する必要。（特に実規模ピン）

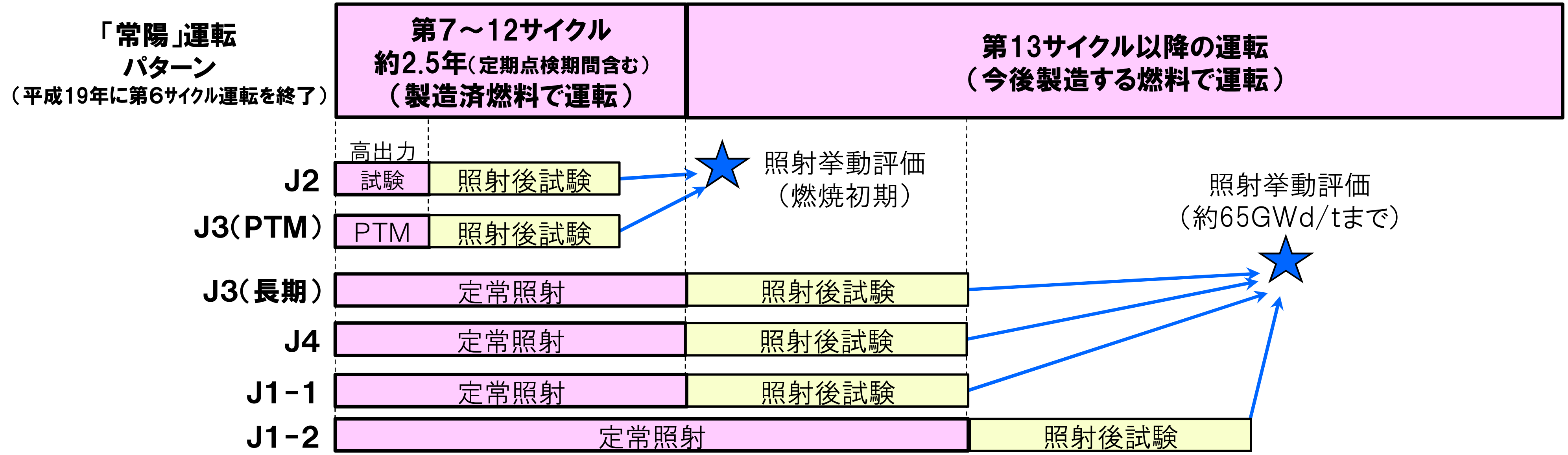
④燃料溶融防止　MA含有、高Pu富化度による融点、熱伝導度の低下を考慮し、高線出力条件での挙動、溶融有無の確認が必要。
Pu、MA再配分挙動、熱伝導度への感度を考慮してO/M比依存性の確認も必要。

⑤サイクル技術　MA含有、高Pu富化度MOX燃料の製造技術及び再処理技術並びにMAの分離・回収プロセスについての技術成立性の評価が必要。

参考資料3－2－2　②照射試験及び燃料材料開発
「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（3/7）

「常陽」での照射試験の概要　（「もんじゅ」での照射試験は参考資料3-1-1①参照）

略号	照射試験名	目的	概要
J1	Am-1長期照射試験	MA含有MOX燃料の被覆管内面腐食等の燃焼依存挙動データ取得	照射中のAm5%-MOX燃料ピン、Am2%-Np2%-MOX燃料ピンを継続照射し、燃焼度蓄積
J2	Am-1短期高出力試験	MA含有MOX燃料の燃焼初期における元素再分布、組織変化等の挙動データ取得	Am5%-MOX燃料ピン、Am2%-Np2%-MOX燃料ピンの短期高線出力試験の第2回目として、前回よりもさらに高い線出力で照射
J3	MA含有高Pu-MOX燃料の系統的試験	高Pu富化度条件で燃料組成、燃料仕様パラメタの照射挙動への影響についてのデータを系統的に取得	Am、Np、Pu含有率、O/M比、ペレット密度、P/Cギャップをパラメタとして、燃焼初期溶融試験（PTM）と長期定常照射試験を実施
J4	GACID-1先行照射試験	ペレット密度の影響についてのデータ取得とM3試験との比較によりスケール効果を評価	試験パラメタのペレット密度以外は主な燃料ペレット仕様がM3と同じMA含有MOX燃料ピンの照射試験



参考資料3－2－2　②照射試験及び燃料材料開発
「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（4/7）

照射試験燃料集合体

照射燃料集合体試験施設（FMF）

・非破壊試験
X線CT
外観検査
寸法測定　等

・試料採取

・破壊試験
ピンパンクチャ
金相試験
FE-SEM観察

照射燃料試験施設（AGF）

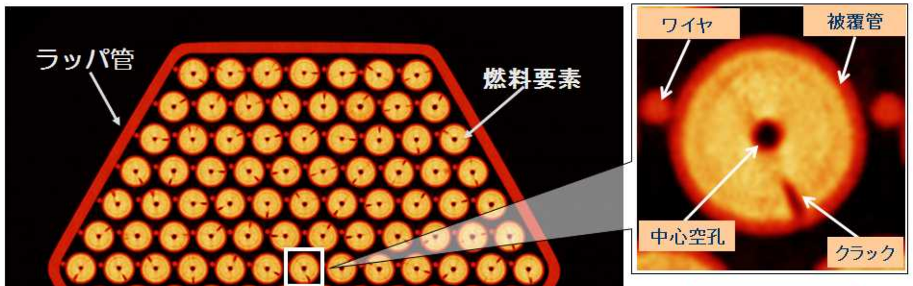
・燃料物性試験
融点測定
O/M比測定
化学分析
EPMA分析等

照射材料試験施設（MMF）

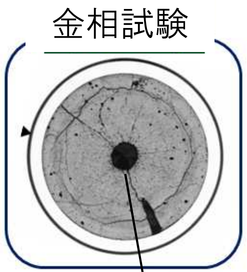
・材料物性試験
強度試験
密度測定
組織観察　等

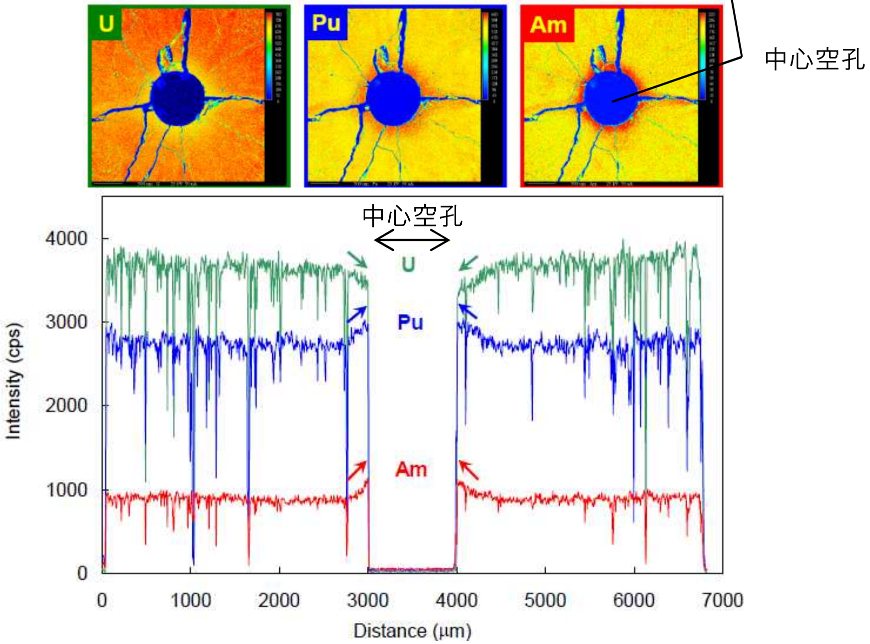
高レベル放射性物質研究施設（CPF）

・再処理試験
溶解
抽出
分析　等



常陽炉心燃料集合体横断面X線CT画像





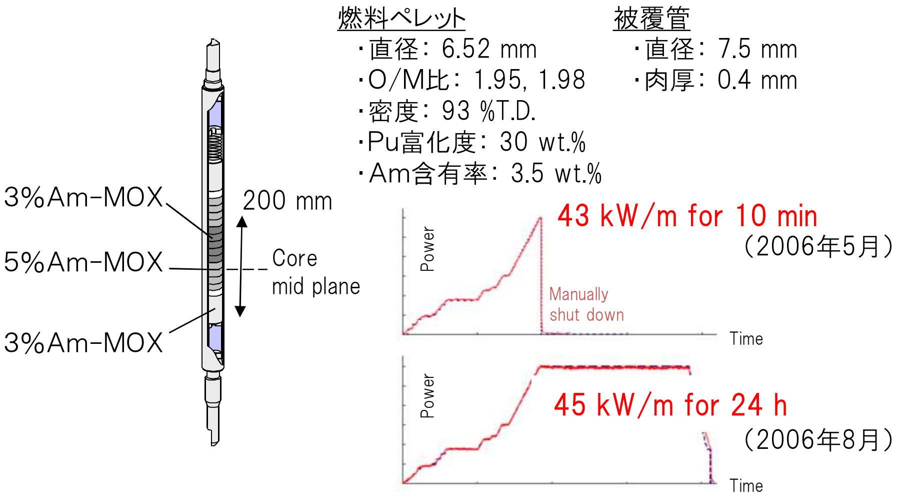
Am-1短時間照射試験のEPMA分析結果

（注）中心空孔は、照射中のペレット組織変化により形成される

参考資料３－２－２　②照射試験及び燃料材料開発
「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（5/7）

（１）MA含有、高Pu富化度MOX燃料の照射挙動把握及び健全性確認

「もんじゅ」にて高Am蓄積実規模MOX燃料集合体（M1）、MA含有MOX燃料ピン（M3、M4）を、また、「常陽」にてMA含有燃料ピン（J1、J2、J4）及びO/M比、ペレット密度等をパラメータとMA含有、高Pu富化度MOX燃料短尺ピン（J3）を照射し、照射後試験を通じて照射挙動を把握すると共に健全性を確認する。M4はGACID（Global Actinide Cycle International Demonstration）日仏米3ヶ国協力プロジェクトとして実施中であり、他の試験についても協力の可能性がある。



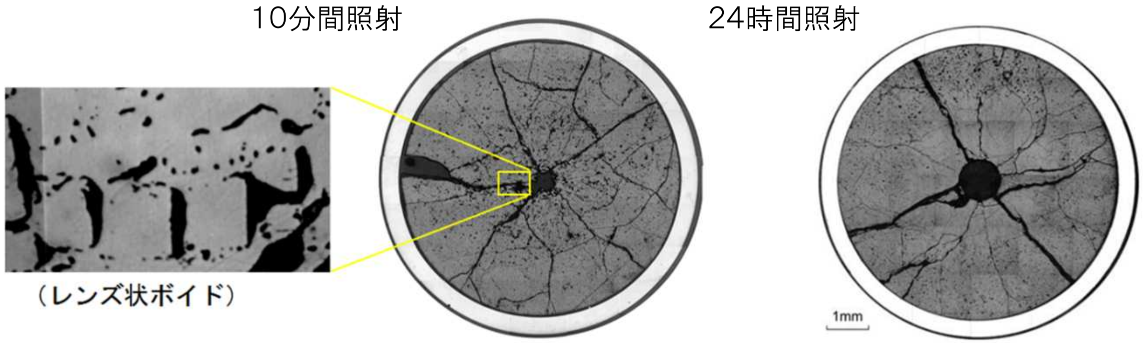
Am-1短時間照射試験の設計仕様と照射条件

（２）MA含有、高Pu富化度MOX燃料の溶融限界出力の把握

「常陽」にてMA含有、高Pu富化度MOX燃料ピン（J3）を、出力上昇を模擬して高線出力まで照射し、燃料溶融限界を把握する。

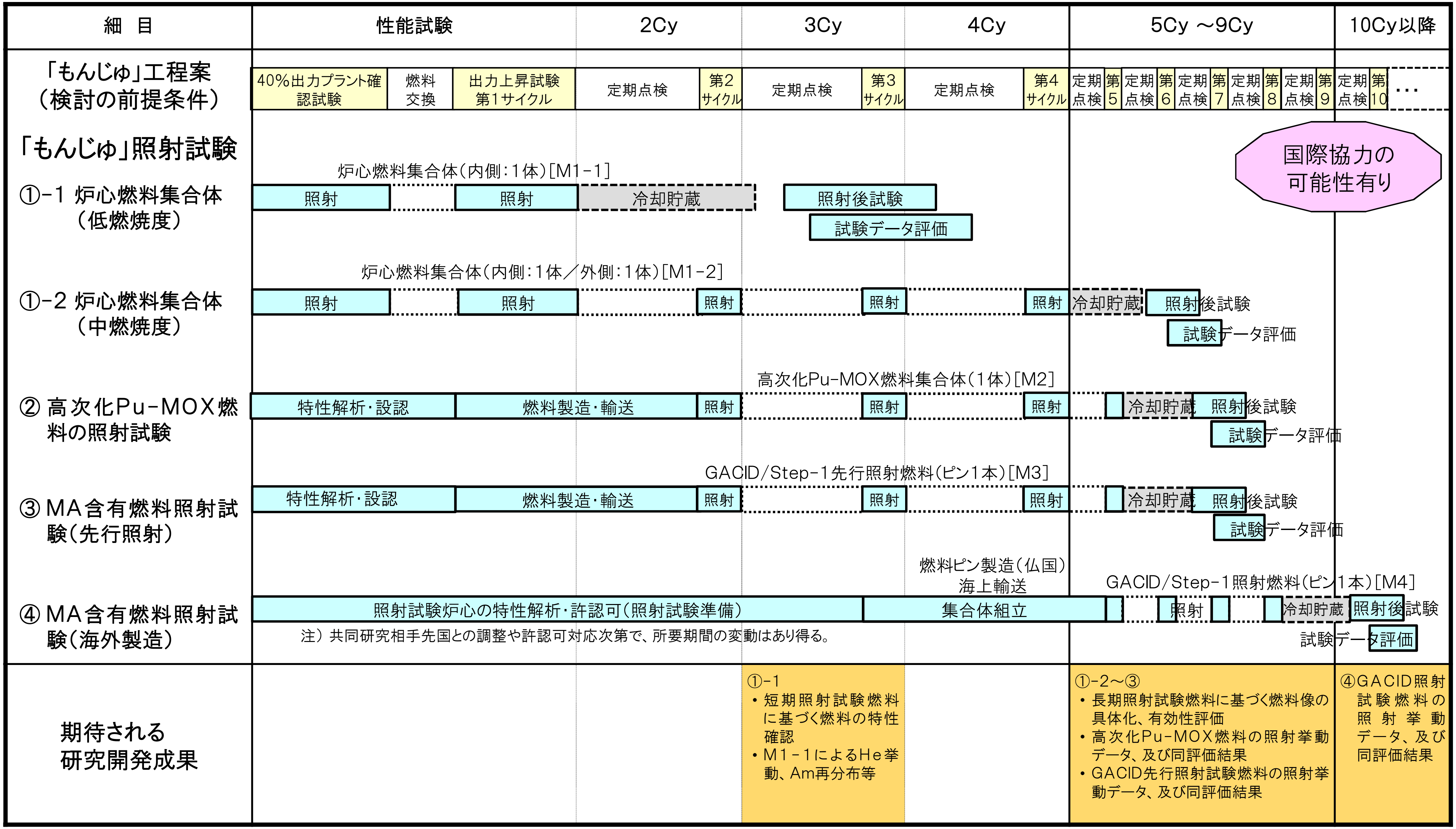
（３）高次化Pu-MOX燃料の照射挙動把握及び健全性確認

「ふげん」MOX燃料から回収される高次化Puを用いた実規模MOX燃料集合体（M2）を「もんじゅ」にて照射し、照射挙動を把握すると共に健全性を確認する。また、日仏協力により、軽水炉MOX燃料由来の高次化Puを適用した照射試験の可能性がある。



Am-1短時間照射試験のペレット横断面の金相写真

（注）照射が進むにつれ、ペレットの組織変化が進行し、中心空孔が拡大

参考資料3－2－2　②照射試験及び燃料材料開発

「もんじゅ」や「常陽」等での照射試験、照射後試験等（6/7）