

# 核変換実験施設の 課題と今後の進め方



平成26年8月20日

独立行政法人 日本原子力研究開発機構

# TEF-T 施設の目的と設計目標

## 実用ADSを見通したLBEターゲット技術の確立

### 実機相当の照射が可能な核破砕ターゲット

- 実用ADSに外挿可能な照射量の確保
- 実用ADSの運転条件に準じたビーム窓材料の照射
- 実機運転温度での照射が可能なループ構成
- 流動LBEによる損傷の促進効果の検証

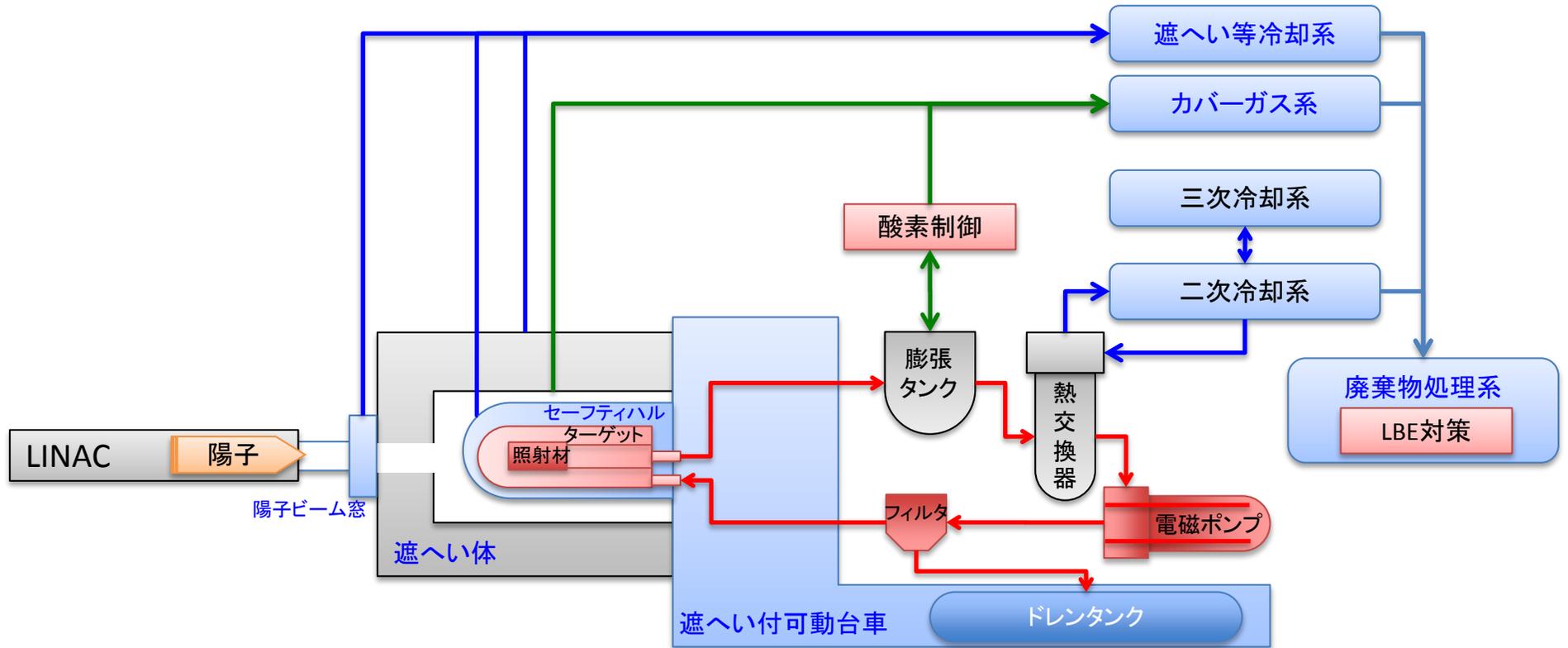
### 陽子ビームを投入するLBEループの利用技術

- 酸素濃度制御による高い耐腐食性の確保
- 信頼性・安定性の高い計装及び異常検出技術
- LBE特有の反応生成物を含む放射性物質の閉じ込め性能

# TEF-T と実用ADS との相違

パラメータ	TEF-T	MEGAPIE	MYRRHA	実用ADS (JAEA)
加速器出力 (MW)	0.25	1	2	30
陽子エネルギー (GeV)	0.4	0.575	0.6	1 - 1.5
ビーム窓温度 (°C)	500	380	480	500
LBE平均流速 (m/s)	1 - 2	1	1.9	2
LBE中酸素濃度	制御	非制御	制御	制御

# TEF-T 核破砕ターゲットの構成



→ LBEライン

→ 水ライン

→ ガスライン

開発が必要な機器類

J-PARC水銀ターゲット共通機器

既存技術

# 主な技術課題と対策(1/2)

解決すべき技術課題	H27年度目標	現在の状況 (赤字:完了、青字:実施中)	目標達成率	課題の解決方法
<p>高温でのLBEループの運転 【前回資料:6-4①】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>熱膨張・熱変形の緩和によるLBE漏洩の防止</li> <li>高温運転時の機器健全性</li> </ul>	<p>最高温度500°Cでの安定運転の見通しを得る</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>既設ループで450°Cまでの運転実証</li> <li>高温試験用ターゲット及びモックアップループを製作中</li> </ul>	50%	<ul style="list-style-type: none"> <li>最高温度を段階的に昇温することで、高温運転に伴う問題点を抽出するとともに、影響緩和機器の設置等での解決を図る(モックアップループ)</li> <li>欧州LBEループとの情報交換</li> </ul>
<p>LBEによる鋼材の腐食 【前回資料:6-4②-1】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>LBE中酸素濃度を安定して計測可能な技術の開発</li> <li>LBE循環系の酸素濃度制御手法の確立</li> <li>酸素センサ安定供給体制の確立</li> </ul>	<p>酸素濃度制御による機器・配管系の耐腐食対策の見通しを得る</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>欧州センサによる酸素濃度計測技術を確立</li> <li>非流動場での酸素濃度制御を実証</li> <li>既存ループ流動場での実証試験を準備中</li> <li>新型酸素センサを開発中</li> <li>系統内酸素濃度分布解析コード整備を検討</li> </ul>	80%	<ul style="list-style-type: none"> <li>高温流動場での制御の応答等の特性を把握し、制御の長期安定性を確認する(既設ループ)</li> <li>新型酸素センサの性能確認と流動場での破損対策</li> <li>欧州LBEループとの情報交換</li> </ul>
<p>LBE流量計測の信頼性 【前回資料:6-4②-2】</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>非接触式の鍵となる配管-LBE間での超音波伝搬性把握</li> <li>ループ低温側最高温度(450°C)での安定稼働</li> <li>遠隔操作による交換を想定した取付構造</li> </ul>	<p>高温運転に対応した超音波式流量計測技術を確立</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>400°Cでの接触式の計測を実証</li> <li>既存ループで非接触式の性能試験準備中</li> </ul>	70%	<ul style="list-style-type: none"> <li>非接触方式センサの取付方法(角度や配置等)を最適化(既設ループ)</li> <li>遠隔操作を可能とするセンサ取付アダプタを開発(既設ループ)</li> </ul>

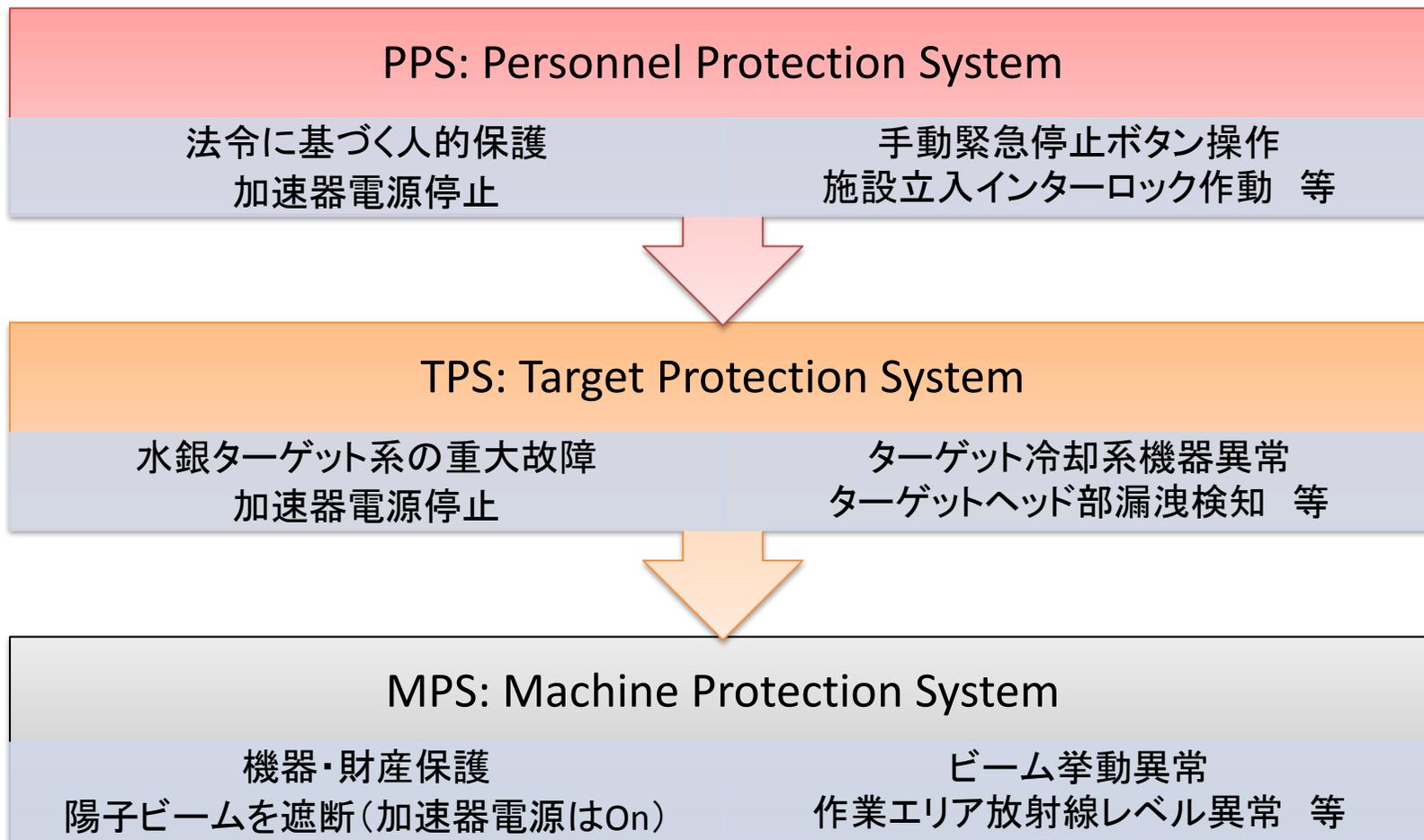
# 主な技術課題と対策(2/2)

解決すべき技術課題	H27年度目標	現在の状況 (赤字:完了、青字:実施中)	目標達成率	課題の解決方法
<b>遠隔操作による設備の管理</b> 【前回資料:6-4③④】 <ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔操作可能な予熱・保温機器の開発</li> <li>遠隔機器による設備のメンテナンス技術の確立</li> </ul>	LBEループを搭載した可動台車の基本設計を完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>遠隔操作フランジを試作し、高温適用性を検討</li> <li>遠隔操作に対応したパッケージヒータを製作中</li> <li>可動ターゲット台車のLBEループ適用性(重量・ループサイズ)を検討中</li> </ul>	60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>試作遠隔フランジ、パッケージヒータを用いた性能確認試験(既設装置)</li> <li>J-PARC既設可動台車の適用性評価と仕様変更</li> </ul>
<b>LBE中の不純物の管理</b> 【前回資料:6-4⑤⑥】 <ul style="list-style-type: none"> <li>核反応生成物量の予測</li> <li>J-PARCの経験に基づく対象核種の選定と対応機器の開発</li> <li>酸素濃度制御に伴う酸化物や低温側での析出物の効率的な除去</li> </ul>	LBE中フィルタ及びオフガス処理設備基本設計完了	<ul style="list-style-type: none"> <li>J-PARCの経験より反応生成物予測精度を検証するとともに、対象核種を選定</li> <li>ポロニウム除去手法確立</li> <li>ヨウ素除去手法を検討中</li> <li>モックアップループでの不純物フィルタ試験を準備中</li> </ul>	70%	<ul style="list-style-type: none"> <li>再処理工場で使われるヨウ素除去技術の適用性検証</li> <li>フィルタの不純物除去効率測定、遠隔交換手法の検証(モックアップループ)</li> <li>システムのメンテナンスシナリオの構築</li> <li>MEGAPIE照射後試験結果の反映</li> </ul>
<b>高放射線場での運転</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>計装類の耐放射線性を検証</li> <li>機器保全のための遮へいボックス設置の検討</li> </ul>	耐放射線性に考慮した計装機器類の設置概念を構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>先行例を参考</li> <li>J-PARCでの耐放射線性試験を検討中</li> </ul>	60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧力計の水銀キャピラリについて、耐放射線試験を実施(J-PARC水銀ターゲット)</li> <li>検出器回路の遮へい対策の検討</li> </ul>

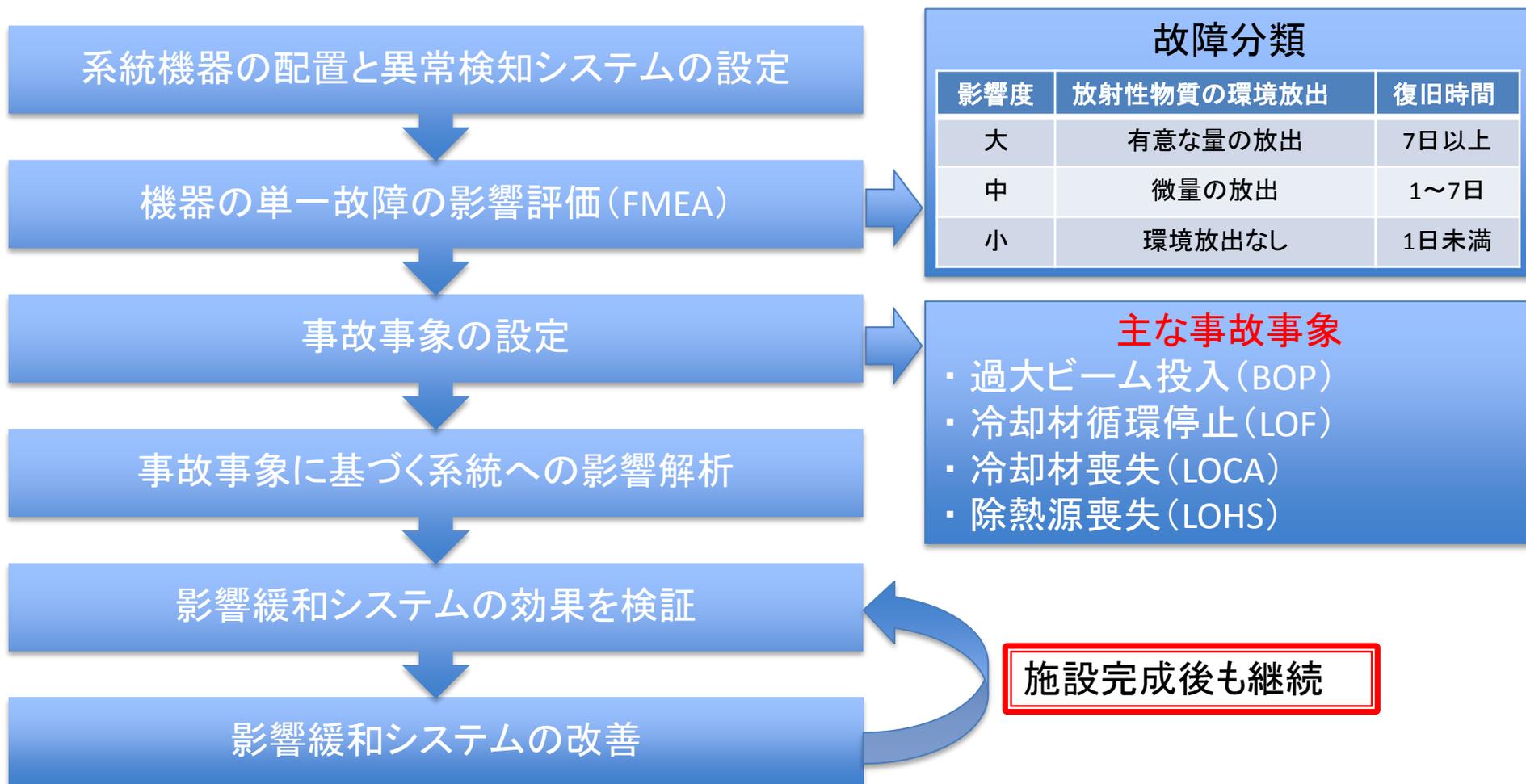
# TEF-T の安全設計方針

- 適用法令
  - 放射性同位体元素による放射線障害の防止に関する法律(障防法)
- 放射性物質を内包する液体金属を取り扱う施設として、多重防護を勘案した設計とし、環境への放射性物質の放出を防止
- 異常時には「加速器の停止」を大前提として事故事象の進展を抑制

# J-PARC 水銀ターゲットの安全保護系



# TEF-Tの安全解析の進め方



# TEF-P の主な課題

- 基本的には、実績のあるFCAの仕様を適用し、**新規制基準への対応**について新たに検討。
- 更に、新たに考慮すべき事項として、主に以下の2項目に関する検討を実施中。
  - ✓ 陽子ビーム導入
    - ・ 課題：**低出力ビームの取り出し、加速器施設と原子炉施設との連結**
  - ✓ MA含有燃料
    - ・ 課題：**高線量・高発熱燃料の取扱**

項目	陽子ビーム導入	MA含有燃料
装置仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>•レーザー荷電変換による<b>(低出力ビームの取り出し)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•原料MAの調達、燃料要素の製造<b>(高線量、高発熱)</b></li> <li>•遠隔取扱技術<b>(高線量)</b></li> </ul>
施設仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>•陽子ビーム導入部の機器構成</li> <li>•陽子ビーム導入運転時の運転方法<b>(加速器施設と原子炉施設との連結)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•貯蔵施設<b>(高発熱)</b></li> <li>•計量管理(核セキュリティ)</li> <li>•冷却施設<b>(高発熱)</b></li> </ul>
施設安全性	<ul style="list-style-type: none"> <li>•安全設計で考慮すべき事項 (例)臨界状態における陽子ビームの誤導入、過剰ビーム導入<b>(加速器施設と原子炉施設との連結)</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•安全設計で考慮すべき事項 (例)長期の外部電源喪失時の燃料健全性評価<b>(高線量、高発熱)</b></li> </ul>

# TEF-P の規制基準対応(これまでの経緯)

## 以前の規制基準に対応して実施してきた事項

- 施設概念に大きく影響する以下の課題に対する対応を中心に、TEF-Pの安全性検討を実施
  - ✓ 加速器施設との連結に関する事項
  - ✓ 類似施設である原子力科学研究所の高速炉臨界集合体（FCA）での考え方を再検討すべき事項
- 上記検討においては、外部委員会（核変換物理実験施設安全性検討専門委員会、平成12年～平成15年）の意見を参考に実施

## 実施事項

- TEF-P「安全設計方針」の策定
  - ✓ 「水冷却型試験研究用原子炉施設に関する安全設計評価指針」(当時)を参考
- TEF-P「安全評価方針」の策定
  - ✓ 「水冷却型試験研究用原子炉施設の安全評価に関する審査指針」(当時)を参考
- 安全性予備検討
  - ✓ 「異常な過渡変化」、「事故」、「重大事故及び仮想事故」
  - ✓ 仮想事故を超える事故として「再臨界事故」

# TEF-P の規制基準対応(新規制基準への対応検討)

## 新規制基準(平成25年12月18日施行)への対応に関する検討

- これまでに実施してきた安全設計方針及び安全性検討に対して、新規制基準で新たに追加・強化された以下の項目等に対する基本要件事項等を満たすために、TEF-Pの安全設計方針等に対する再検討等が必要な事項を検討
  - ✓ 高中出力炉等、事故時に及ぼす影響が大きい試験研究炉施設について、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大の防止
    - 燃料破損の防止、影響緩和
    - 使用済燃料貯蔵設備における燃料破損の防止、影響緩和対策
  - ✓ 地震・津波の評価方法（火山、竜巻、森林火災等への対策）
    - 耐震重要度分類に応じた設計用地震力に十分耐えられる設計
    - 適切と考えられる津波に十分耐えられる設計
  - ✓ 外部人為事象(第三者の不法な接近)等に対する考慮
    - 想定される偶発的な外部人為事象によって、安全性を損なうことない設計
    - 第三者の不法な接近等に対する適切な防御

# TEF-P の規制基準対応（今後検討が必要な対策）

## 検討結果

- 設計変更等が必要な主な項目として、以下を抽出
  - ✓ MA燃料冷却装置、非常用電源設備、換気空調設備、原子炉建屋等
- 新規制基準に対応したTEF-P「安全評価方針」を策定するために、今後、以下の項目に対する検討を進める。
  - ✓ 「安全上の機能別重要度分類」、「耐震重要度分類」の明確化、設計条件の定義
    - 停止機能、冷却機能、閉じ込め機能の全てが失われた場合を想定し、一般公衆への放射線影響の程度を評価
    - 上記評価を実施するために、MA燃料破損防止、影響緩和のためのMA燃料の許容設計限界の設定
  - ✓ 設計基準を超える事象への対策
    - TEF-Pが該当する低出力炉（500kW未満）に対しては、多量の放射性物質等を放出する事故の拡大防止は直接要件とされていないが、放射線量の高いMAを相当量扱うことから影響評価が必要

TEF建設における主な技術課題とスケジュール

年度		平成26	27	28	29	30	31	32
		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
TEF-T: ADSターゲット試験施設(陽子ビーム輸送系含む)		試験実施・検討 安全規制対応・設計		詳細設計	建設			運転
チェック&レビュー		技術的課題の 対応進捗評価	施設建設に向けた技術的 課題解決の見直し評価	機器発注に向けた技術的 課題対応状況評価	施設運転に向けた 準備状況評価			
【項目】	【目標】	【主な技術課題】						
鉛ビスマス(LBE)ループ・ターゲット設計	最高温度500℃でのLBEループの安定運転	工学的に成立するターゲットの設計 熱変形緩和によるLBE漏洩の防止 高温運転時の機器健全性確保	・450℃での運転実証	・ターゲットの基本設計完了 ・高温試験用ターゲット及びモックアップループを用いた試験による、高温安定運転実現の見直し	・試験継続による、高温安定運転の実証 ・安全性検討結果も踏まえた機器設計完了	・モックアップループによる長期高温安定運転試験		
材料腐食抑制	酸素濃度制御による機器・配管系材料のLBEによる腐食抑制	・LBE中酸素濃度の安定計測・制御技術の確立 ・酸素センサ安定供給体制確立	・非流動場での酸素濃度計測・制御技術の確立	・高温流動場での酸素濃度計測・安定制御技術確立の見直し	・高温流動場での酸素濃度計測・安定制御技術実証 ・酸素センサ安定供給体制確立	・長期安定制御試験で材料腐食抑制を確認 ・照射試験比較用LBE流動下非照射サンプルの作成 ・系統内酸素濃度分布解析コード整備		
計装技術	高温LBE流動下における流量計等の計装技術確立、機器長期信頼性確保	・配管-LBE間での超音波伝搬性把握 ・ループ低温側(450℃)での安定稼働 ・遠隔操作による交換に対応した取付構造の確立	・400℃、LBE接触式での超音波流量計による計測を実証	・450℃、LBE非接触式での超音波流量計による計測実証の見直し	・遠隔操作による交換が可能なLBE非接触式超音波流量計技術実証	・長期計測試験(安定性、耐熱性、耐腐食性)		
遠隔保守技術	遠隔操作によるLBEループ機器等の設備の確実な保守	・遠隔操作可能な予熱・保温機器の開発 ・遠隔操作機器による設備保守技術の確立	・J-PARC MLF及び高速炉技術による手法の確認	・遠隔対応型フランジやパッケージ型予熱・保温機器等、遠隔保守技術確立の見直し	・遠隔保守技術の実証とLBEループ・ターゲット・遠隔操作機器等設計に合わせたチューニング	・保守用治具試作及び操作性検証 ・機器設計・製作に適宜対応		
不純物管理	LBE中及びオフガスの不純物(放射性物質)の安全管理	・核反応生成物の予測 ・J-PARC経験に基づく対象核種の選定と対応機器の開発 ・酸化物や析出物の効率的除去	・J-PARCの経験に基づく反応生成物予測精度確認と対象核種選定	・TEF-Tに特有なオフガス中Poやの除去手法確立の見直し ・フィルタによるLBE中不純物除去手法確立の見直し	・保守シナリオも考慮したオフガス処理設備及びLBE中フィルタの設計完了	・機器設計・製作に適宜対応		
耐放射線性	高放射線場におけるLBEループ機器の長期安定運転	計装類の耐放射線性検証 機器保全のための遮へいボックス検討	・J-PARC及び高速炉における実績調査や耐放射線性試験による計装類の耐放射線性確保の見直し	・遮へい対策や機器配置等も含めた計装類の耐放射線性を考慮した設計完了		・機器設計・製作に適宜対応		
国際協力	国外機関との連携・情報交換	・核破砕中性子源の運転経験集約 ・LBE取扱技術に関する情報交換	・J-PARC T-TAC第1回開催	・J-PARC T-TACによるレビュー及び欧州研究機関とのLBE技術情報交換	・欧米研究機関とのLBE研究・中性子源に関する情報交換 ・J-PARC T-TACレビュー対応	・欧米研究機関とのLBE技術・ターゲット技術に関する情報交換と機器性能向上方策の検討 ・J-PARC T-TACレビュー対応		
TEF-P: 核変換物理実験施設		検討		地盤調査	設計・設置許可	建設		
チェック&レビュー				設計・設置許可に向けた技術的課題解決の見直し評価				
【項目】	【目標】	【主な技術課題】						
規制対応	新規規制基準要件に適合した施設設計 核セキュリティ上の要件への適合	・新規規制基準への対応	・耐震重要度分類の設定 ・安全設計方針の骨子	・TEF-P施設の安全性評価 ・TEF-P施設の設置許可申請の作成 ・安全設計方針等に基づく施設・装置設計	・TEF-P施設の設置許可申請			
要素技術開発	MA燃料取扱技術確立 未臨界面計測技術開発	・遠隔操作による燃料要素取扱技術確立	・モックアップ試験装置製作、試験による技術実証	・試験結果を踏まえた装置設計				
MA燃料	MA供給、MA燃料製造	・燃料製造に関する計画の妥当性	検討	基礎試験・サンプル製作	小規模供給(既存施設・10g規模)			

# 参考：J-PARC 水銀ターゲット

