

## 廃炉国際共同研究センター「国際共同研究棟」が有すべき機能・設備に係る提言

平成 28 年 7 月 29 日

廃炉基盤研究プラットフォーム運営会議

廃炉基盤研究プラットフォーム（以下「プラットフォーム」という。）は、東京電力ホールディングス（株）福島第一原子力発電所（以下「1F」という。）の廃炉に向けた基礎・基盤研究の推進協議体である。廃炉に向けた基礎・基盤研究が応用研究、実用化の下支えとなり、これらの成果が実際の廃炉作業に繋げられるよう、基礎・基盤研究の全体マップの作成や、これに基づいた研究活動、研究開発に必要な人材の育成・活用等を実施することとしている。加えて、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（JAEA）が廃炉に向けた基礎・基盤研究の拠点として整備する廃炉国際共同研究センター（CLADS）「国際共同研究棟」について、プラットフォーム参加者による「国際共同研究棟」での共同研究実施や施設・設備の活用の促進に向け、CLADS「国際共同研究棟」が国内外の英知が結集する拠点として有すべき機能・設備やその利活用方策について検討を行うことを、活動の一つとして位置付けている。

そこで、CLADS「国際共同研究棟」が有すべき機能・設備について、以下の通り取りまとめ、提言を行う。

## 1. CLADS「国際共同研究棟」について

CLADS は、「東京電力（株）福島第一原子力発電所の廃止措置等研究開発の加速プラン」（平成 26 年 6 月 文部科学省）に基づき、国内外の英知を結集し、1F の廃止措置に係る研究開発と人材育成を一体的に進めるため、平成 27 年 4 月に JAEA に設置された。

「国際共同研究棟」は CLADS の中核的な拠点として 1F の廃炉研究を加速するために、国内外の大学、研究機関等が共同で利用できる施設として平成 29 年 3 月に福島県富岡町に竣工予定である。現在の JAEA の計画における国際共同研究棟の諸元は以下の通りである。

住所	福島県双葉郡富岡町大字本岡字王塚 789 番 1、790 番 1、790 番 2、790 番 6
構造・規模	鉄骨造、地上 2 階建て
建設面積	1,096 m <sup>2</sup>
延床面積	2,115 m <sup>2</sup>
高さ	10.3 m

## 2. 廃炉研究の推進・強化に必要な機能・設備

NDF が策定した「東京電力（株）福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2015」において、JAEA は「廃炉の加速化に資する先端的研究開発や既存の廃炉技術の代替等に向けた多様な可能性の追求、学術的な知見の提供といった廃炉技術の基盤となる研究開発」等を実施することと

されている。

そのため、CLADS では、「国際共同研究棟」において、基礎・基盤研究として、各種試験後の材料分析や、事故進展推定のための環境試料を用いた分析、廃棄物処理・処分研究のための試料分析等を実施することとしている。

加えて、1 F 事故進展挙動の評価研究等に資するため、1 F で起きた過酷事故を模擬した高温高压環境を再現できる機能が求められている。

以上の要求に応えるため、分析及び過酷事故模擬試験に必要な設備として、以下のとおり取りまとめる。

## 2. 1 分析・試験等に必要な機能・設備

「国際共同研究棟」において、分析・試験等を実施する上で必要な設備として、以下を整備することを提言する。

### (1) 走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型エックス線分光計

模擬デブリや微小粒子の表面観察及び元素分析に必要である。

### (2) 多目的エックス線回折装置

土壌や金属材料の結晶状態の把握に必要である。

### (3) 実験室 XAFS 装置

X 線吸収微細構造の測定により対象原子の周囲の状態把握に必要である。

### (4) LIBS 分光装置

模擬デブリや材料に含まれる元素分析を遠隔で実施するために必要である。

### (5) ガンマ線分析装置 (HPGe)

環境試料等に含まれるガンマ線放出核種の分析に必要である。

### (6) 蛍光イメージングリーダー

環境試料等に含まれる放射性微粒子の検出に必要である。

### (7) 顕微ラマン分光装置

微小粒子の結晶性状、化学形態の把握に必要である。

### (8) ドラフトチャンバー・実験台

化学操作を伴う試料調製や実験準備等に必要である。

### (9) 制御棒ブレード破損試験装置

制御棒ブレードとその周りに配置した燃料集合体の破損、崩落過程の試験に必要である。

#### (10) 水蒸気雰囲気での急速昇温反応炉

内部に被覆管サンプルを装荷し、水蒸気による材料腐食進展のデータ取得に必要である。

### 2. 2 照射試験に必要な機能・設備

平成27年4月のCLADSの設置以降、東京電力との情報交換会議等を通じて、現場ニーズ側から、滞留水からの継続的な水素発生挙動の評価といった要求や、CLADSが開催した国際ワークショップ等において、新たにセンサー等の耐放射線性試験の必要性が挙げられた。これらの要求や課題に対応するためには、照射試験環境としてRI（放射性同位元素等）使用施設を整備することが求められている。そのために必要な機能・設備として、以下を整備することを提言する。

#### (1) ガンマ線及び電子線照射装置

様々な照射場・環境を模擬して、照射下の放射線分解や材料腐食、各種センサー（素子・装置）の耐放射線性等の研究開発、並びにそのための産官学の専門家育成に効果的に活用するために、小型ガンマ線照射装置及び小型電子線照射装置が必要である。

#### (2) 多種類線源（密封）室

新たなガンマ線検出機器の研究開発及びその可視化技術の研究開発のため、1F建屋内部の主たる汚染核種である $^{137}\text{Cs}$ を代表表面線源核種とした高線量率環境を模擬可能な三次元放射線照射場実験室を整備するとともに、 $^{152}\text{Eu}$ 、 $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{22}\text{Na}$ 、 $^{241}\text{Am}$ 、 $^{241}\text{Am}\text{-Be}$ 等の各種放射線源を整備し、開発する検出器の特性試験が可能な放射線試験環境が必要である。

### 2. 3 過酷事故模擬試験に必要な機能・設備

様々な過酷事故模擬試験の環境整備として、1F事故進展挙動の評価研究等に資するため、1Fで起きた過酷事故を模擬した高温高圧環境を再現できる炉心溶融モックアップ試験施設（コールド）及び、大型の「模擬燃料集合体」の破損試験を行うための試験装置を整備することが求められている。そのために必要な機能・設備として、以下を整備することを提言する。

#### (1) 炉心溶融モックアップ施設（参考資料参照）

デブリ形成過程で評価が必要な現象は、高温、かつ、溶融凝固などの相変化を伴う非線形現象で、さらに、化学反応の影響が無視できない、非常に複雑な現象である。形成過程で評価が必須となる物理化学現象の一例を次に示す。

- + 共晶反応（燃料-被覆管・チャンネルボックス-制御棒等）
- + 燃料コンクリート反応（MCCI）
- + 下部プレナム構造材溶融挙動
- + 外部構造材-燃料挙動
- + 可燃性ガス挙動

模擬材料であっても、高温高圧、かつ爆発の危険性があり、通常の実験室では実験が不可能である。このことから、高温高圧に耐える実験環境を構成する事が必要となる。具体的には、1 F 事故では格納容器圧力が7気圧になったことを勘案し、200度7気圧に耐える、内径4 m、内側高さ6 m、コンクリート壁厚さ0.8 mのバンカーの整備が必要である。

## (2) 大型模擬燃料集合体試験設備

BWRは特有の炉心構造を持ち、シビア・アクシデント事故時の炉心溶融移行挙動に関する試験データが不在のため、現状では事故進展挙動推定の不確かさが大きい。このためBWRの基本的な炉心体系を模擬した「模擬燃料集合体」の破損試験を行い、炉心物質の溶融移行挙動や高温化炉心のガス透過性などに関するデータ取得を行うための試験設備の整備が必要である。必要な試験設備の概要を次に示す。

- + 模擬燃料集合体（4集合体+1制御棒ブレードの下部1mを模擬）と支持構造からなる試験体
- + 上下可動型の大型プラズマトーチで試験体を上方から加熱・溶解し、同時に実機の集合体内軸方向温度分布を模擬
- + 実機雰囲気条件を模擬し試験体を収納するための試験容器
- + 試験体内温度分布測定、炉心物質移行挙動観察のための計測設備

本設備は1 F事故進展挙動の評価研究に限らず、一般軽水炉のシビア・アクシデント研究にも活用することにより、国内外の研究協力の拡大に資する。

## 3 廃炉研究のイノベーションハブ拠点としての機能・設備の強化

「国際共同研究棟」においては、国内外の大学、研究機関、産業界等の人材が交流できるネットワークを形成しつつ、プラットフォーム参加者をはじめとする大学・研究機関等が供用できる廃炉研究のイノベーションハブ拠点としての機能が求められる。

そのため、廃炉研究の推進・強化に必要な機能・設備に加え、大学・研究機関等との供用に資するために必要な設備として、以下に掲げる機器・設備等を整備することを提言する。

### (1) オージェ電子分光装置

オージェ電子分光装置は、固体試料表面の元素及びその化学的結合状態によるケミカルシフトを知ることができ、ホウ素を含む模擬デブリや材料表面に吸着したセシウムなどの高空間分解能での化学状態解析や放射性微粒子の表面状態分析による事故進展推定などの研究に利用でき、大学・研究機関等との供用に資するため、廃炉研究のイノベーションハブ拠点のために必要である。

### (2) アトムプローブ電界イオン顕微鏡

アトムプローブ電界イオン顕微鏡は、3次元イメージング分析に使用でき、模擬デブリや材料の微視的研究、環境試料分析（セシウムボール等）による事故進展推定などの研究に利用でき、大学・研究機関等との供用に資するため、廃炉研究のイノベーションハブ拠点のために必要である。

### (3) レーザー加熱高温材料試験装置

レーザー加熱高温材料試験装置については、水蒸気雰囲気中で 2500℃以上の高温かつ急速昇温を材料に与えることが可能であり、シビア・アクシデント条件での様々な材料挙動を評価する研究に利用でき、大学・研究機関等との供用に資するため、廃炉研究のイノベーション拠点のために必要である。

なお、「国際共同研究棟」が有すべき機能・設備の整備に当たり、現在建設中の「国際共同研究棟」においてその全てを担うことが難しい場合には、「国際共同研究棟」そのものの増改築や、新たな研究用建屋（二期施設）等を建設することを提言する。

以上

炉心溶融モックアップ施設  
(過酷事故模擬環境バンカー, Severe Accident Bunker)

### 必要性

福島第一の溶け落ちた燃料は、二千度を超える高温の燃料が構造物やコンクリートを溶かして固まっている。廃炉においては、この溶け落ちた燃料（以下燃料デブリと呼ぶ）の状況を知る事が重要となる。

3年以内には、燃料デブリの一部がロボットによってサンプルされ、大熊の分析施設において分析され、一部の結果得られると期待されている。これらのデータを元に、どのように燃料が溶け落ち、現在どうなっているのかを評価する事によって、燃料デブリの全体像が把握される。

CLADSは、そのための世界の英知を結集するための研究中心組織であり、大熊で得られたデータを評価し、廃炉に反映する研究を推進する事が必須である。

評価研究は大きく分けて3つに分類される。一つは、大熊における燃料デブリの分析結果を解釈し、廃炉に生かす。(デブリ性状評価, Debris Characterization) 二つ目は、燃料デブリの形成過程を実験的に評価する事で、燃料デブリの全体像を把握する事である。(デブリ形成過程実験 Debris Process Experiment) 三つ目は、燃料デブリの形成実験結果を統合化する事で、現状の燃料デブリの状況と分布を推定する事である。(デブリ解析推定, Debris Simulation)

このうち、デブリ性状評価とデブリ解析推定は、コンピュータによるデータ解析を中心とした、小規模な実験評価で構成される。このため、十分な性能を持つコンピュータの利用が必須となる。

形成過程実験では、二千度を超える燃料の挙動を評価する事が必要であるが、それは容易ではない。また、本来はウランやプルトニウムを用いた実験が必要であるが、それは、核物質防護上不可能であるため、性状の類似した模擬物質によって実施される。具体的に、デブリ形成過程で評価が必要な現象は、高温、かつ、溶融凝固などの相変化を伴う非線形現象で、さらに、化学反応の影響が無視できない、非常に複雑な現象である。形成過程で評価が必須となる物理化学現象の一例を下記に示す。

- + 共晶反応（燃料一被覆管・チャンネルボックスー制御棒等）
- + 燃料コンクリート反応（MCCI）
- + 下部プレナム構造物溶融挙動
- + 外部構造物一燃料挙動
- + 可燃性ガス挙動

模擬材料であっても、高温高圧、かつ爆発の危険性があり、通常の実験室では実験が不可能である。この事から、高温高圧に耐える実験環境を構成する事が必要となる。溶融凝固挙動を扱うため、熱バランスが重要となり、実機と同じスケールのモックアップ実験を行う事が必要となる。個別の実スケール実験と、スケールダウンしたシステム実験を組合せ、デブリ解析評価やデブリ性状評価のシミュレーションと組み合わせる事で、総合的なデブリ把握を行う事が廃炉推進のためには必須となる。

このような、福島で起きたシビアアクシデント(過酷事故)を模擬した、高温高圧環境を再現できる実験室を作り、その中で、福島廃炉に寄与する上記にリストアップした様々な実験を推進する。これは、世界

でも唯一、富岡にしかない設備であり、世界中の研究者が実験を行うために集まってくる。

具体的には、福島を模擬した実験を行うため、直径 4m、高さ 6m のバンカーを富岡に作る。福島では格納容器圧力が 7 気圧になったことを勘案し、200 度 7 気圧に耐えるバンカーを構築する。本バンカーの中には、安全に福島の過酷事故模擬環境を構築する事ができる。世界中から、福島の過酷事故を研究する研究者が集い、大熊の研究とリンクしながら、富岡のバンカーで実験を繰り返す事で、福島の廃炉研究を進める中核設備となる。

バンカーの仕様

直径 4m 高さ 6m の円筒形

最高使用圧力 7 気圧

最高使用温度 200 度

なお、類似の設備として、スウェーデンの KTH には、過酷事故模擬実験を行うための同様のバンカー設備がある。150 度 3 気圧の環境に耐えられるように作られた空間において、20 年以上にわたり、様々な過酷事故模擬実験が進められてきている。ヨーロッパ中の研究者がストックホルムに実験に集まっている。ただし、この設備は容積が小さく、福島を模擬した実験を行う事は困難である。このため、KTH のバンカーをバージョンアップし、福島廃炉に特化した、研究環境とする。



バンカーの設置例 (KTH で使用中)