## 第14回 1F廃炉の先研究会

## 1F廃炉と『デブリ取り出し』 を考える

## 2021年6月14日

## 東京電力ホールディングス 福島第一廃炉推進カンパニー 溝上 伸也

1

# 自己紹介

- ・1973年1月3日生まれ 現在48歳
- 1991年3月 愛知県立明和高校卒業
- 2000年3月 東京大学大学院工学系研究科システム量子工学専攻 博士課程卒業 複雑系、流体力学等の研究に従事
- 2000年4月 東京電力 入社 柏崎刈羽原子力発電所勤務
- 2001年4月 東京電力 原子力技術部炉心・燃料グループ
   その後、組織改編等あるも、今日まで本社にて勤務
   次期MOX燃料設計、次期安全評価技術、安全審査、原子力の外部経済評価等に従事
- 2011年3月11日 東日本大震災発生 福島第一原子力発電所事故 本社にて事故対応、主に使用済燃料プールの安全性・水位評価に従事
- 2011年7月~ 福島第一原子力発電所事故分析に従事
   その後、組織改編・異動等あるも、今日まで事故分析業務を担当
- 2019年12月 スペシャリストS(福島第一原子力発電所事故の分析と調査)任用
- 2020年4月 福島第一原子力発電所 燃料デブリ取り出しプログラム部 (本社駐在) 注: APGM (Assistant Program Manager)は名ばかりで、 デブリ取り出しそのものには関与していない。

現在に至る



- ・1Fの『デブリ取り出し』に必要な情報
- ・1Fの『デブリ取り出し』におけるリスク?の考え方
- ・デブリはどこにどのくらいあるか?
- ・プラント各部の状態はどうか?
- ・作業環境はどうなっているか? 放射線量は?建屋健全性は?
- ・まとめ

## 福島第一原子力発電所1~3号機の状況



核燃料物質(燃料デブリ)が 原子炉、格納容器内に散乱

① デブリはどこにどのくらいあるか?
 ② プラント各部の状態はどうか?
 ③ 作業環境はどうなっているか?放射線量は?建屋健全性は?
 1.廃炉作業を実施するためには、状況把握が重要

2.廃炉は、安全に実施しなくてはならない

4



トレ理体。の田民郷

人と現境 度合と頻	,への あ ぎ 度
重篤	重大な事故などのリスク
ф.	時間経過に伴う 非許容領域の増加
低	

# デブリはどこにどのくらいあるか?

## 1~3号機の状態推定

	燃料デブリ分布			格納容器水位	
	炉心部	圧力容器底部	格納容器	ドライウェル水位※	圧力抑制室水位
1号機	ほとんどない	ほとんどない	大部分	約2m	ほぼ満水
2号機	少ない	多い	少ない	約0.3m	中間
3号機	<b>∨</b> 少ない	<b>∨</b> 少ない	ある程度	約6m	満水



※ 2021年1月時点の水位(2021年2月13日に発生した地震の影響により1号機と3号機の格納容器(ドライウェル)水位は変化)

## 予備知識(各部の名称)



1~3号機の原子炉/格納容器内の状態推定のアプローチ

▶事故時のプラントデータは監視機能を喪失したことで限定的
 ▶燃料デブリのある圧力容器/格納容器内は特に放射線量が高く、現場調査により得られる情報は限定的
 ▲ 3つのアプローチを組み合わせることで圧力容器/格納容器内の状態を推定



現場調査により得られた情報を活用

「I. 解析コード/事故進展シナリオ」/「Ⅱ. データ分析」によるアプローチ



## 1~3号機の原子炉/格納容器内の状態推定(初回)

▶ 2011年当時は、「Ⅲ. 現場調査」による情報が限定的であったことから、主に「Ⅰ. 解析コード/事故進展シナリオ」/「Ⅱ. データ分析」によるアプローチで推定



初回の推定図(2011年11月)

初回の推定においては、1号機>3号機≒2号機との評価であった

## MAAPによる3号機の原子炉圧力再現解析(2012年3月)



気にしなければ、原子炉圧力の測定結果(オレンジプロット)と 解析結果(黒実線)はそれほど大きな差は無いが、減圧速度は RPVからの気体の流出速度を現しており、解析は実現象を捉えていない

## MAAPによる原子炉水位再現解析(2012年3月) HPCIによる原子炉注水の停止時期



原子炉圧力及び原子炉水位の解析結果の再現性が悪いことより
 HPCIによる注水は、手動停止より前に原子炉へ注水できていないこと
 原子炉減圧時には、水位はかなり低く、燃料溶融が進んでいたことの二つが明らかになった

その結果として、3号機の燃料損傷は従来(2011年11月)の予測よりも厳しい状況(燃料はほとんど格納容器に落下)である可能性が示された



#### 2017年7月の格納容器内部調査結果

3号機格納容器内部調査時に得られた映像をもとにペデスタル内部の状況を 全体的に把握することを目的に3D復元処理を実施



前述の解析・データ分析による推定は、2017年の3号機の格納容器内部調査 にて、それが正しかったことが確認された。

## 「**Ⅲ.<u>現場調査</u>によるアプローチ」**も加えたプラント状態の把握



©Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc. All Rights Reserved.

無断複製・転載禁止 東京電力ホールディングス株式会社

## ミュオンを用いた調査結果(1号機)

#### ■ 燃料がもともとあった炉心部には重量物を示す影を確認できず。



解析での予想通り、燃料は格納容器に落下したものと考えられる

## ミュオンを用いた調査結果(2号機)

原子炉底部に落下した燃料デブリと推定される影を確認

(measured until 2016.7.22)



#### 1号機、2号機の原子炉・格納容器内の燃料デブリの推定図



金属成分を多く含み、コンクリートは

ほとんど侵食されず

コンクリートを侵食 ↑と推定

# プラント各部の状態はどうか?

## 従来知見と観測事実に見られるギャップ



## コンクリート侵食に関する従来の知見





MCCIをチャイナシンドロームと 結びつけて、どんどん地下深くまで コンクリートを侵食していくイメージを もっている方もおられるが、 溶融燃料は下方向だけでなく、 横方向にもコンクリートを侵食する ことが知られている。

## コンクリート侵食に関する従来の知見



廃炉作業におけるリスク管理のイメージ

人と環境への悪影響 度合と頻度



廃炉作業におけるリスク管理のイメージ

人と環境への悪影響 度合と頻度



# ①作業環境はどうなっているか? 放射線量は?建屋健全性は?







#### ➡ ①5階壁が横方向に吹き飛んだ後、非常に速い上向きの流れが発生

日本テレビ英語ニュースより https://www.ntv.co.jp/englishnews/articles/2021jchpv2an8kz38enp.html<sup>26</sup>

## 1号機の建屋内構造物の損傷状況の整理



3階以下の機器ハッチ周辺の状況(Oは薄い構造物が変形している箇所)

●比較的薄い構造物の変形は見られるものの、その他の構造物の損傷はほとんど見られず、強い爆風が流れ込んだ形跡は見られない。

◆ ②3階以下のフロアには強い爆風は流れ込んでいないと考えられる。

## 水素爆発解析 - ケース①5階漏えい・5階着火



28

#### 5階漏えい・5階着火 解析結果

XXXX



Run: 000017

Var: P\_3D Time: 0.00 s (0)

Run: 000017 Var: FMOLE\_3D Time: 0.00 s (0)











## 水素爆発解析 - ケース②5階+4階漏えい・4階着火



## 5階+4階漏えい・4階着火 解析結果

VVV





Run: 400001 Var: FMOLE\_3D Time: 60.00 s (0) 2300.0

2100.0

1900.0

1700.0

1500.0

1300.0

1100.0

900.0

700.0

251.9

180

160

140

120

100

80 60

40

20

0

2号機オペフロの汚染状況について

- 養生シートは、2号機で格納容器からの主要な漏えい経路である、
   トップヘッドフランジ⇒シールドプラグ⇒建屋の経路上にあったもの
- 粒子状FPの形跡が残っている可能性がある





2号機オペレーティングフロア

無断複製・転載禁止 東京電力ホー ルディングス株式会社

2号機オペフロで採取された粒子の分析結果



純FeとFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>が共存している特徴的微細組織に<u>U(~10%)が含まれている</u>構造の粒子。 球形であることから蒸発凝固過程によると推定。 Fe主成分の凝固相FeOから、降温過程でFeとFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>に分離したと推定。 (水蒸気リッチ環境: PH<sub>2</sub>/PH<sub>2</sub>O = 0.01~1 程度) Fe(OH)<sub>2</sub>として蒸発 → FeOの球形凝固相 → FeとFe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>に相分離



現場から得られる情報を用いた現象理解の深化と推定精度の向上



2号機オペフロのα汚染状況

ウランが確認された場所にはプルトニウム等α核種も存在する可能性





2号機オペレーティングフロア

2号機オペフロで採取された資料の $\alpha$ 核種の汚染レベル[Bq/g]

	<sup>238</sup> Pu (約88年)	<sup>239+240</sup> Pu (約2.4×104年 約6.6×103年)	<sup>241</sup> Am (約4.3×102年)	<sup>244</sup> Cm (約18年)
2号機試料	$(6.1 \pm 0.3) \times 10^{1}$	$(2.5 \pm 0.2) \times 10^{1}$	$(2.4 \pm 0.2) \times 10^{1}$	$(5.1 \pm 0.3) \times 10^{1}$

廃炉作業におけるリスク管理のイメージ

人と環境への悪影響 度合と頻度

重篤	重大な事故などのリスク
中	縦軸はリスクだけでなく       時間経過に伴う         安心・安全の観点も?       非許容領域の増加
低	

## 1~3号機の状態(現在の推定図)





※ 2021年1月時点の水位(2021年2月13日に発生した地震の影響により1号機と3号機の格納容器(ドライウェル)水位は変化)

## まとめ

 ● 廃炉を実施するためにも、廃炉の最終形態を決めるためにも 正しいプラント状態の把握が重要
 ▶ 今後もいろいろなアプローチでの検討を継続

● 廃炉戦略はリスク情報だけでは決定できない
 ▶ 風評被害を出来るだけ発生させない

▶ 近隣住民を不安にさせない→QOLを低下させない

- 1F事故炉から得られる情報は、原子力工学、基礎科学の 観点からの活用も可能
  - ▶ 知見を世界の原子力発電プラントの安全性向上に
  - ▶ 事故炉で発生した高温条件を実験で再現することは 難しい←ある意味では科学のフロンティア

# ご清聴ありがとうございました。