

日本原子力学会「水化学」部会 第29回定例研究会  
2017年3月1日(水) 日本原子力発電(株)本店

# Phébus FP プロジェクトで得られた 核分裂生成物挙動

「過酷事故時の核分裂生成物(FP)挙動」研究専門委員会設立  
に向けての活動状況

日本原子力研究開発機構  
内田 俊介

- **核分裂生成物(FP)の挙動は、原子炉固有の課題[原子炉工学の重要な技術項目]**
  - ・特に、TMI-2とチェルノビル事故を契機に、過酷事故に対する備えが重要視
  - ・欧州を中心に、Phébus FP プロジェクトで原子炉を用いたFP挙動モックアップ実験を実施
- **2000年に入ると過酷事故に対する設備増強などの機運にかけり、**
  - ・日米では、FP関連研究予算が縮小され、関連研究プロジェクト衰退。技術者の減少が顕著
- **水化学の分野でも同様。著名な研究者が第一線を退き、技術伝承を危惧**
- **Phébus FP Proを含め事故時のソースタームでは、ヨウ素が中心。格納容器内挙動が主**
  - ・半減期が長く、長期間にわたって影響を及ぼすセシウムの議論はわずか。
  - ・福島事故では、微粒子に付着したセシウムの環境に拡散、大量の汚染水が生成
  - ・事故時の炉内/格納容器内、原子炉建屋内でのFP挙動把握が必須
- **廃炉作業は、今後40年余にわたって継続される息の長い事業。**
  - ・燃料デブリ取出し、廃炉作業を推進に当り、作業者の被ばくの抑制、内部被ばく抑制が必須課題。
  - ・燃料デブリの取扱と併せて、作業計画および実施においてはFPに対する十分な知見不可欠。
- **FP研究の復活、技術の再立ち上げ、長期間にわたる技術を維持、継続が必須**
  - ・計画的なFP関連研究者、技術者の養成と技術継続が必須
  - ・技術継続のためには、新たな研究課題の策定が必要。
- **原子力学会に複数の部会にまたがる研究専門委員会の設立を目指す**

# 核分裂生成物(FP)の挙動に関する研究経緯

No.2

- 核分裂生成物(FP)の挙動は、原子炉固有の課題
  - ・燃料棒内に閉じ込める: 燃料破損に伴い放出、再処理時に放出(適正管理で対応)
  - ・燃料棒内での挙動: 生成、燃焼、拡散などを精緻に究明。反応度への影響(ORIGENほか)
- TMI-2、チェルノビル事故後過酷事故対応(1980年代)
  - ・事故時の対応: 格納容器がFPの放出拡散抑制に有効[水素制御他に注力]
  - ・過酷事故の燃料、FP挙動の国際プロジェクト(Phébus FPプロジェクト): In-pile模擬実験
  - ・過酷事故を想定した深層防護: 設計事象を超えた事象への対応
- 2000年代に入り、特に日米で、過酷事故対応が下火
  - ・過酷事故対応が退行: 水素燃焼対応、フィルタベントの設置は先延べ。非常用電源重視
- 水化学におけるFP挙動研究
  - ・破損燃料対応の水化学(被ばく線源への影響、破損燃料検出): 燃料信頼性の大幅向上により退行  
通常運転時のFP挙動(特にBWRにおける、FP挙動)研究は消失
  - ・ヨウ素挙動、特に照射下のヨウ素挙動研究: ラジオリシス研究は続行
  - ・一般FP挙動の研究者は、高年齢化。世代交代が難しく、関係研究者人口漸減
  - ・他の部会も状況もほぼ同じ状況と推察される
- 福島事故後のFP研究/技術ニーズ
  - ・汚染水処理の水化学
  - ・廃炉作業のための長寿命FP対応: 今後40年間の技術を支える基盤技術の確立
  - ・新規制、基準対応のためのFP化学(フィルタベント対応、深層防護レベル4対応のFP技術)  
=> FP関連技術のリバイバル、適切なTT推進(TTの基となる技術の集大成)

燃料破損 => 炉水へのFP放出 => 各種経路から環境へ放出

• 主放出経路

① BWRではタービンオフガス系

[希ガスホールドアップ装置]

特に、原子炉停止時のヨウ素スパイク。通常時の10-100倍の放出

• サブ放出経路の探索と放出形態、放出量の把握

② タービン軸封系(主蒸気による軸封)

軸封蒸気(当初主蒸気使用)に同伴して、タービン建屋に放出

=> ルーフベントから環境へ放出

[クリーン蒸気での軸封化]

③ 廃棄物タンクベント系(復水として凝縮後、復水脱塩器で除去)

脱塩器室の遮蔽強化

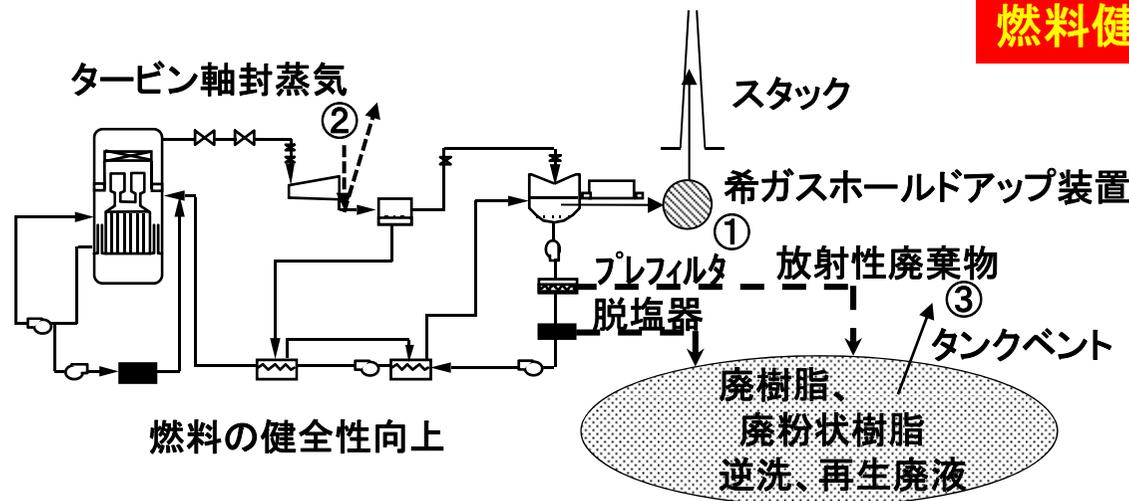
復水樹脂逆洗水中のヨウ素の崩壊による希ガス

=> タンクベントから廃棄物処理建屋

=> 環境

[タンクベントガス処理]

**燃料健全性向上により抜本的に課題消失**

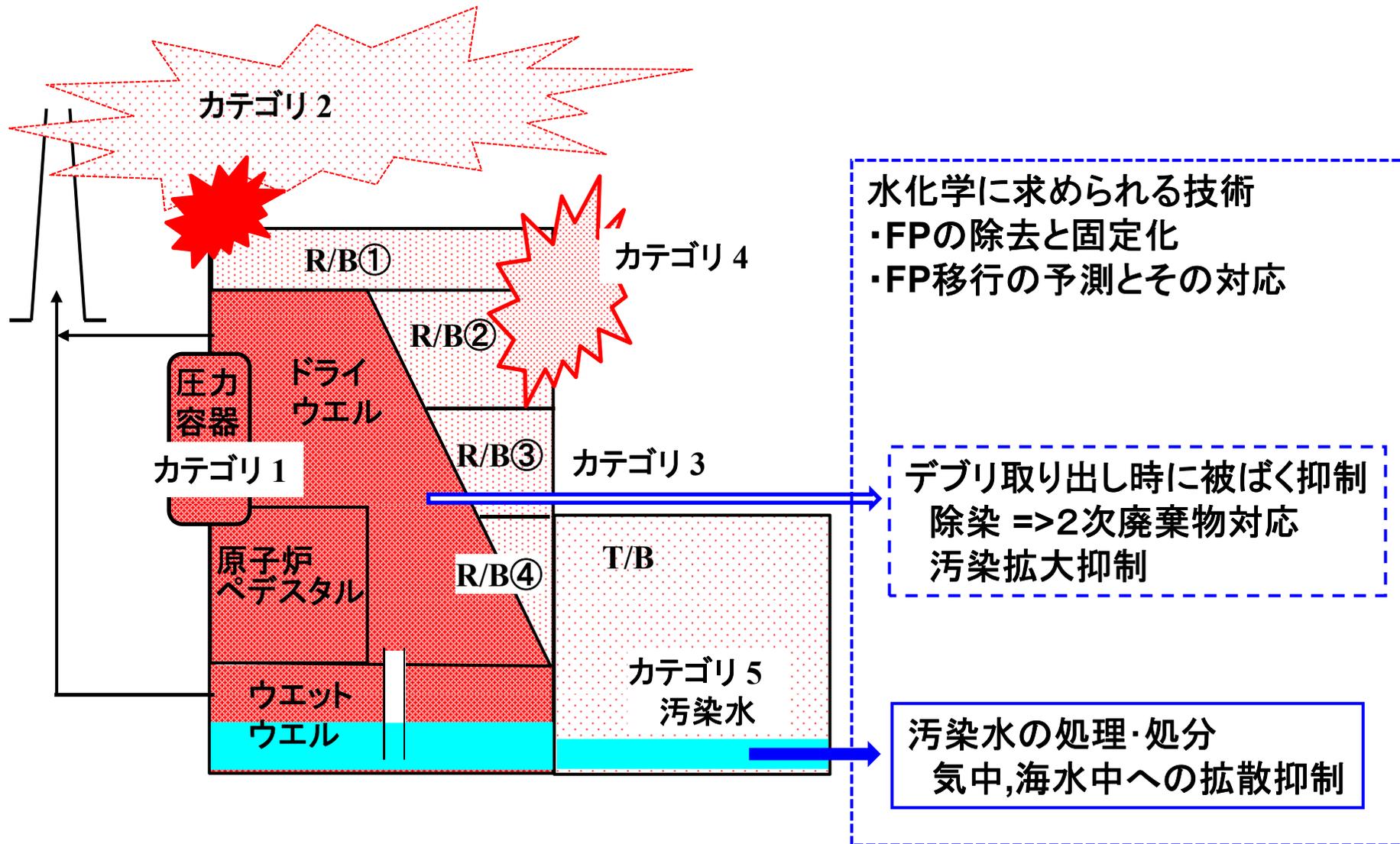


1982年「水化学」研究専門委員会(主査:石樽顕吉先生)発足当初は、線量率低減に関しても、FPの寄与に関心が持たれたが、以降は放射性腐食生成物が議論の中心

FP研究は事故対応が中心

# 事故時のFP移行プロセスとカテゴリ

## 水化学でカバーする領域



# 過酷事故時のFP移行の主要プロセス

部会主要守備範囲

保健物理・環境科学

核燃料

熱流動

過酷事故  
解析

さらに  
横断的に

計算科学技術

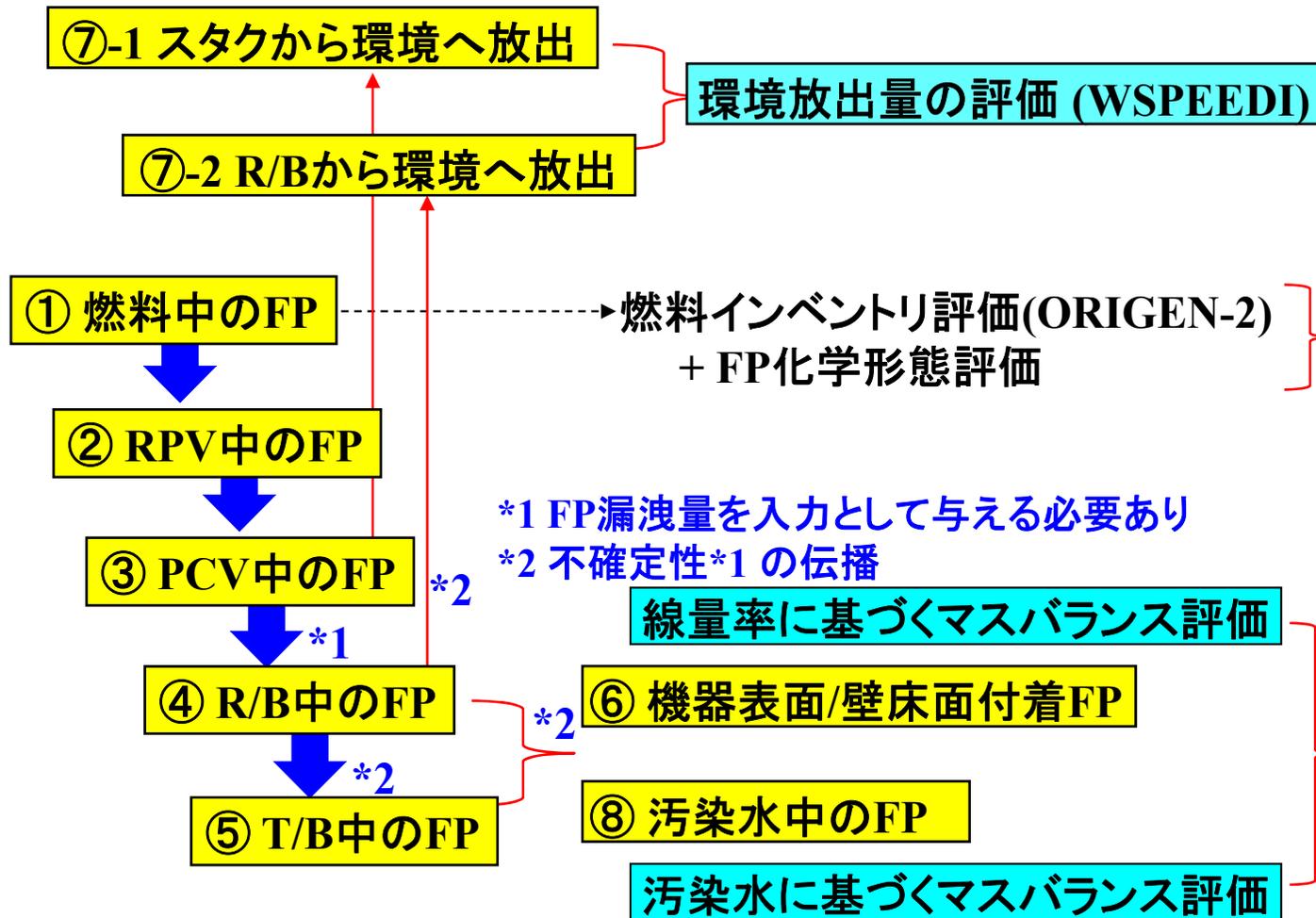
水化学

今後参加要請する部会

放射線工学部会

バックエンド部会

核融合炉工学部会

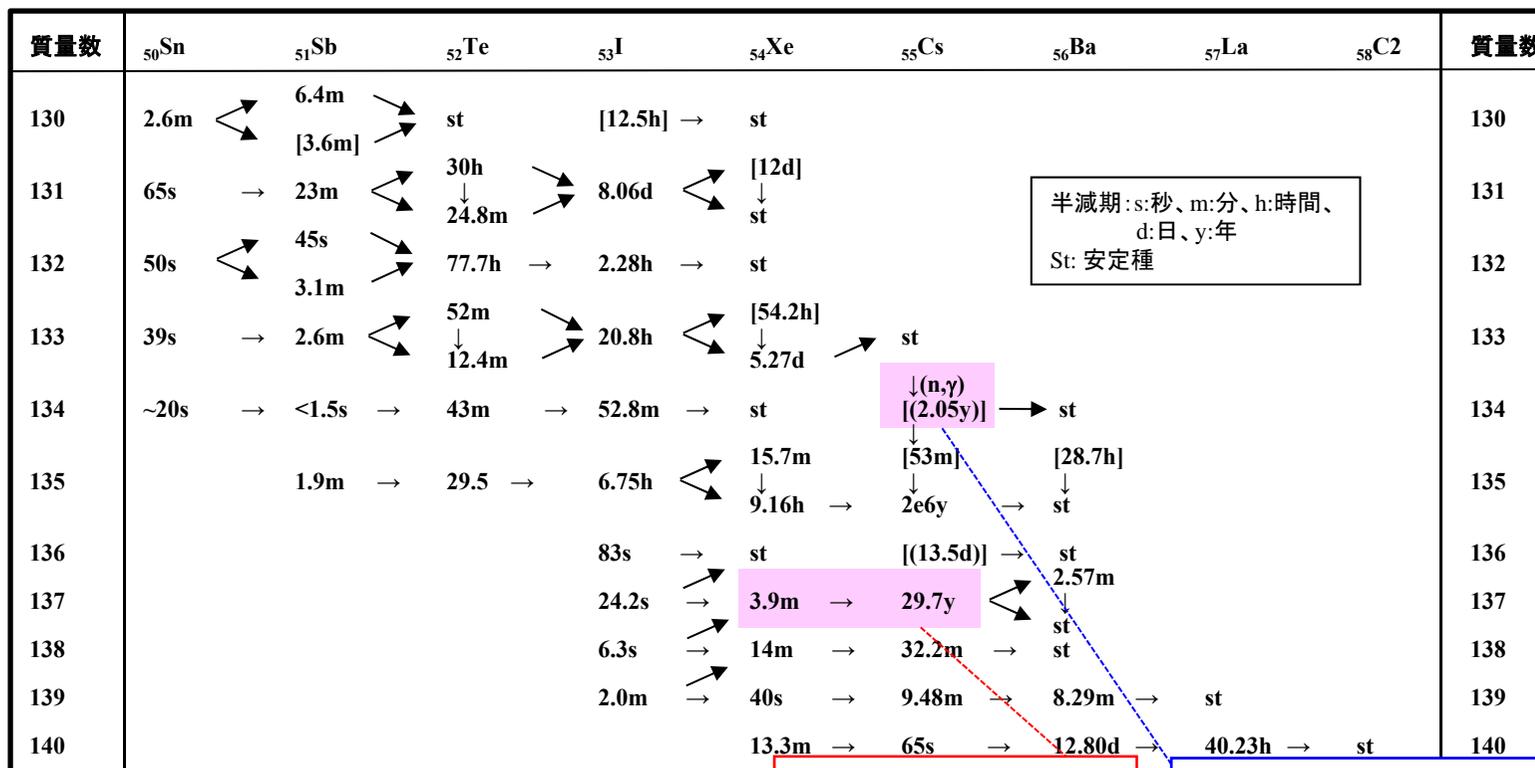


■: Forward 評価    ■: Backward 評価

①-③ (PCVより内側) の実測データが乏しい => CAMSデータの有効活用)

2014年4部会合同・2016年5部会合同企画セッションでの結論のひとつ:  
部会を枠を超えた連携組織設立の必要性

# 核分裂生成物の生成と壊変スキーム

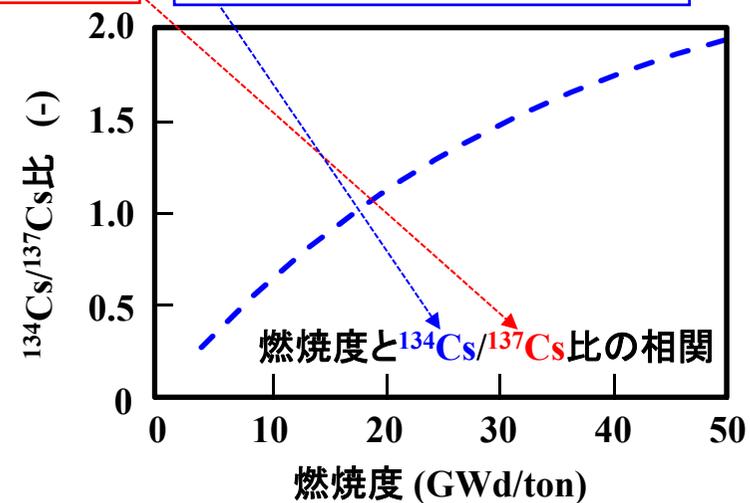


FPチェインで生成

安定なFPの放射化で生成

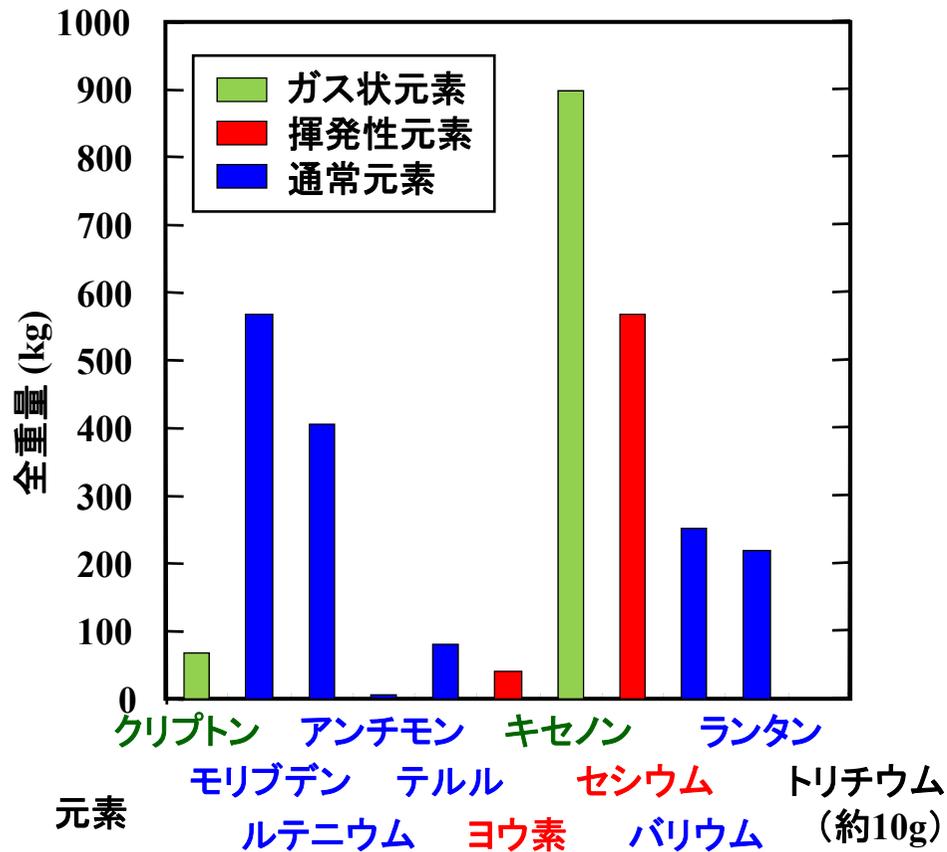
短期・中期・長期的な観点で重要となる主な核分裂生成物

短期		中期		長期	
FP	半減期	FP	半減期	FP	半減期
<sup>88</sup> Kr	2.8 h	<sup>95</sup> Zr	64 d	<sup>85</sup> Kr	10.7 y
<sup>91</sup> Sr	9.5 h	<sup>99</sup> Mo	2.8 d	<sup>90</sup> Sr	28.6 y
<sup>97</sup> Zr	17 h	<sup>105</sup> Ru	39 d	<sup>106</sup> Ru	1.0 y
<sup>105</sup> Ru	4.4 h	<sup>127</sup> Sb	3.8 d	<sup>110m</sup> Ag	0.7 y
<sup>133</sup> I	20.8 h	<sup>131</sup> I	8.0 d	<sup>125</sup> Sb	2.8 y
<sup>135</sup> Xe	6.6 h	<sup>132</sup> Te	3.2 d	<sup>134</sup> Cs	2.1 y
<sup>143</sup> Ce	1.4 d	<sup>131</sup> Xe	5.2 d	<sup>137</sup> Cs	30.1 y
		<sup>140</sup> Ba	12.8 d	<sup>144</sup> Ce	284 d
		<sup>141</sup> Ce	32 d	<sup>144</sup> Eu	8.6 y

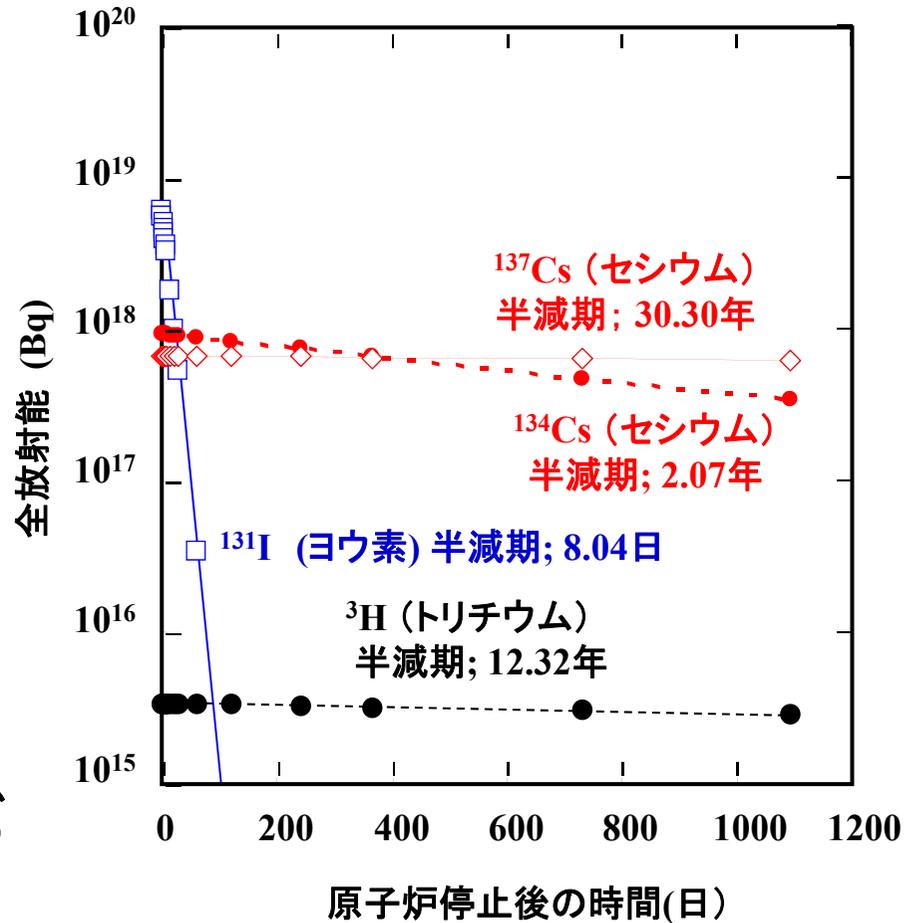


# 燃料中の核分裂生成物の総量と放射能

[ORIGEN2コードによる計算値(1-3号炉の合計)]



a) 各元素ごとの重量



b) 主要核種の放射能

# マスバランスに基づく蓄積量の評価

## 循環浄化評価の基礎式

基礎マスバランス式 [2]

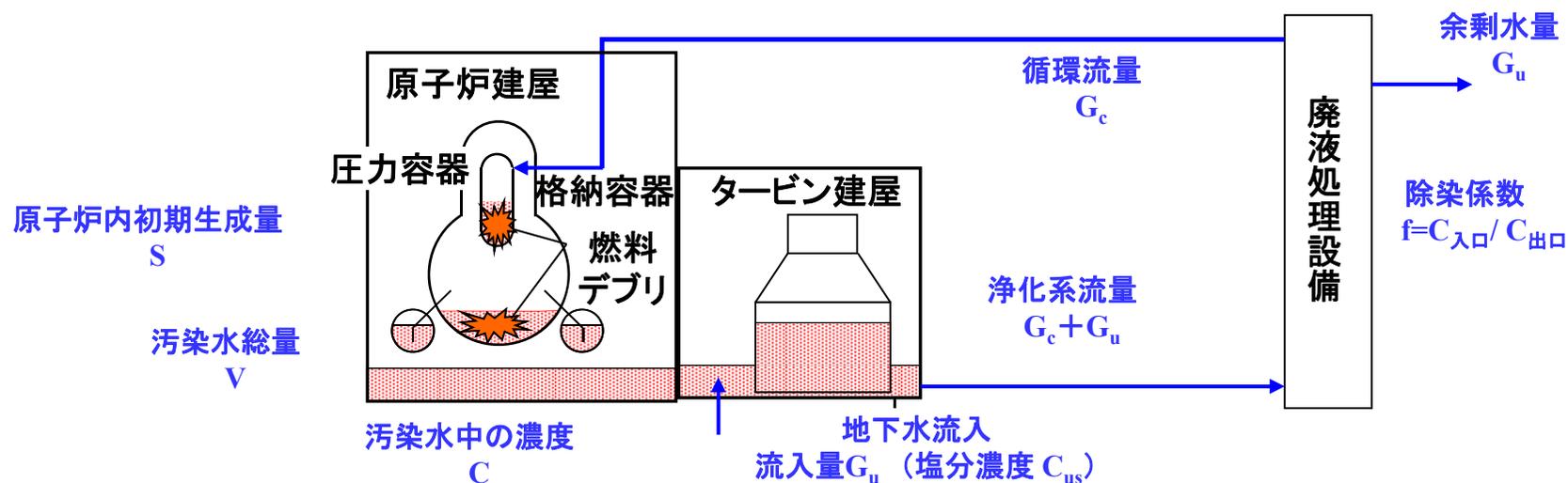
$$\text{濃度時間変化: } dC/dt V = \underbrace{\zeta(1-\varepsilon) S}_{\substack{\text{原子炉} \\ \text{からの発生項}}} - \underbrace{(C - C_{us})G_u}_{\substack{\text{地下水流入} \\ \text{と余剰水}}} - \underbrace{(1-1/f) CG_c}_{\substack{\text{廃液処理系} \\ \text{での除去}}} - \underbrace{\lambda CV}_{\text{壊変}}$$

$$\text{発生項: } dS/dt = -(\zeta + \lambda)S$$

$$\text{初期濃度: } C_0 = \varepsilon S / V$$

$\varepsilon$ : 初期放出率(-)、 $f$ : 除染係数(-)、 $\zeta$ : 溶出率(1/s)、 $\lambda$ : 壊変定数 ( $0.693/T_{1/2}$ )

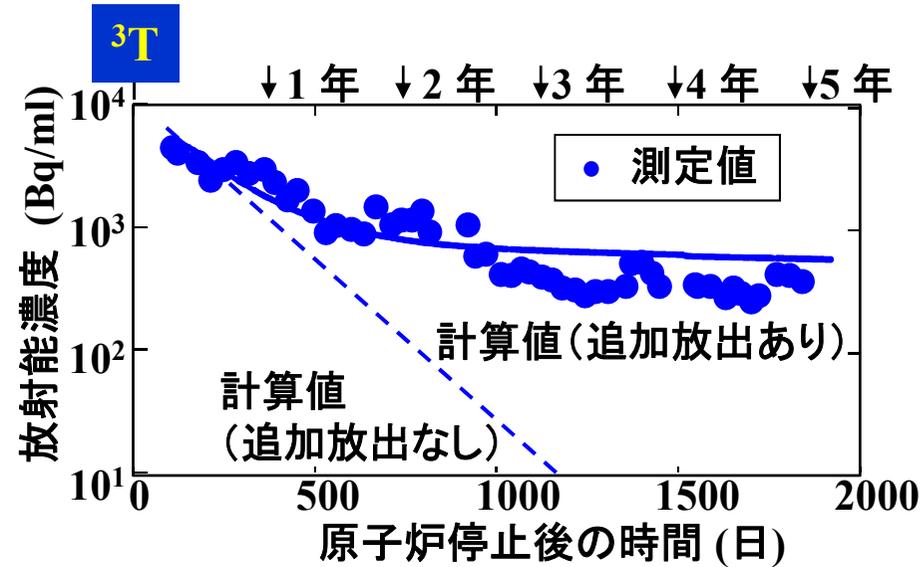
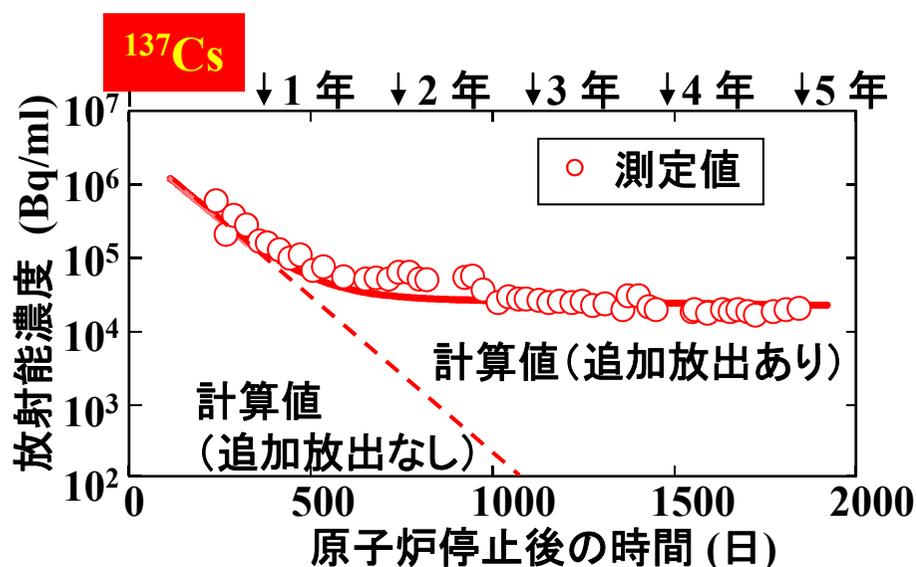
[ $^{134}\text{Cs}$ ], [ $^{137}\text{Cs}$ ]: 原子炉からの  $\zeta(1-\varepsilon) S_{^{134}\text{Cs}}$  と  $\zeta(1-\varepsilon) S_{^{137}\text{Cs}}$  が発生項  
 [ $^3\text{T}$ ]: 原子炉からの  $\zeta(1-\varepsilon) S_{^3\text{T}}$  が発生項 除去項がない分、 $C_{us}=0$  で希釈



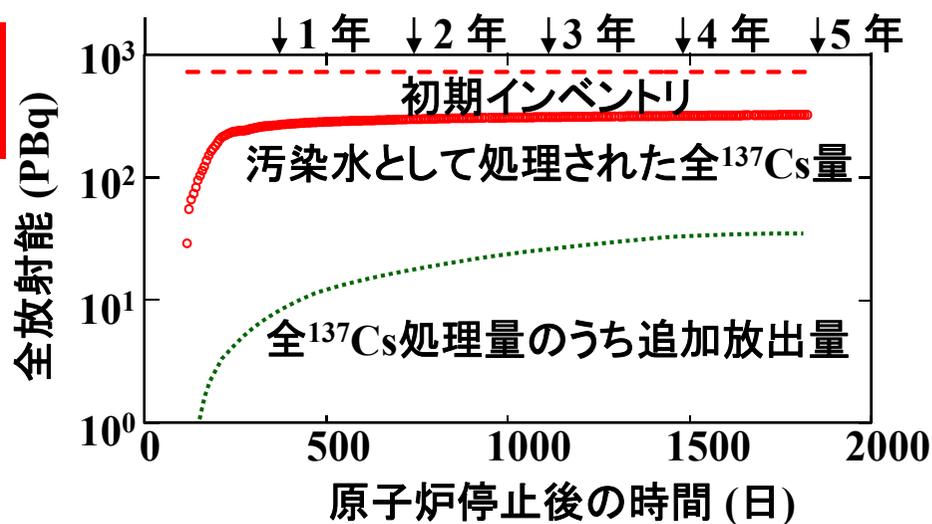
原子力学会「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」における水化学部会担当分野

# 汚染水のマスバランス評価結果

## 5.5年間の汚染水処理(学会事故調報告+)



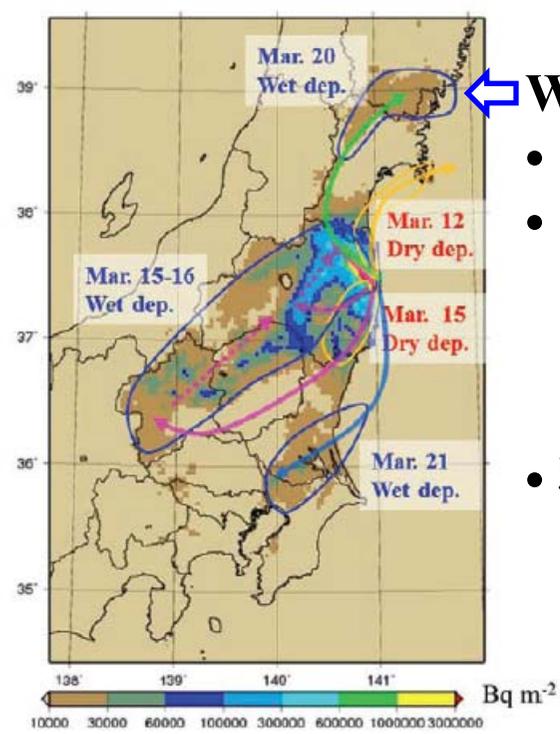
### 汚染水における $^{137}\text{Cs}$ のマスバランス



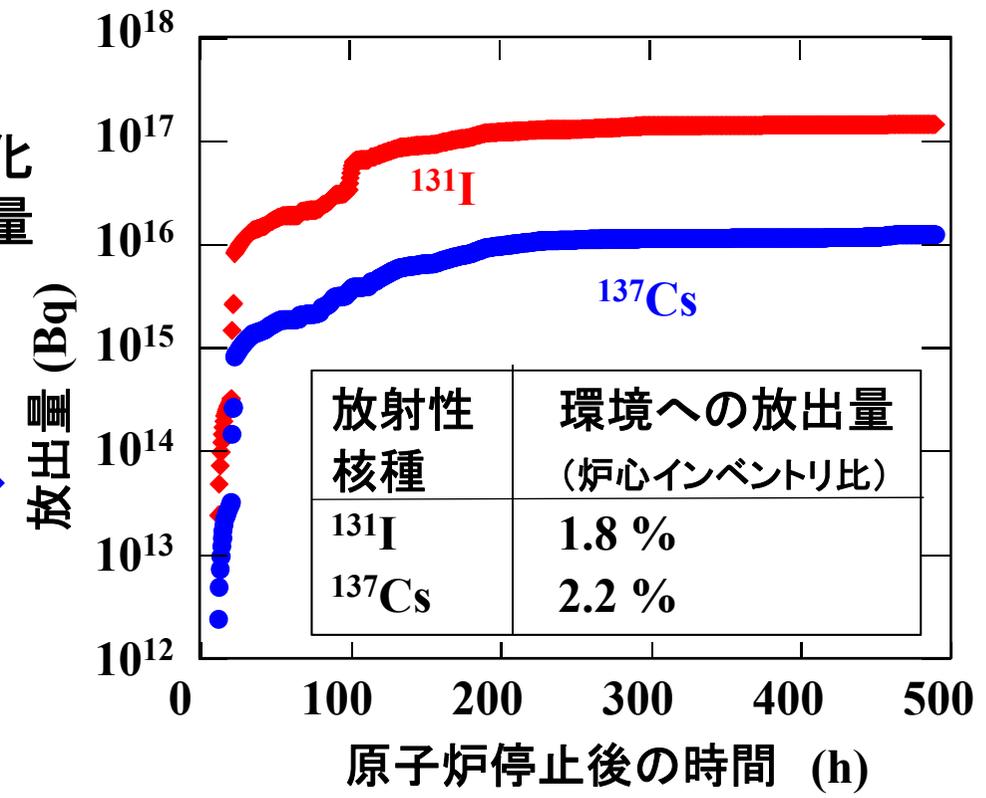
原子力学会「福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会」における水化学部会担当分野

出典 [3] S. Uchida, et al., "Latest Activities of the AESJ Investigation Committee on the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi NPP", Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear power Systems, NPC2014, Oct. 26-30, 2014, Sapporo, Japan, AESJ (2014).

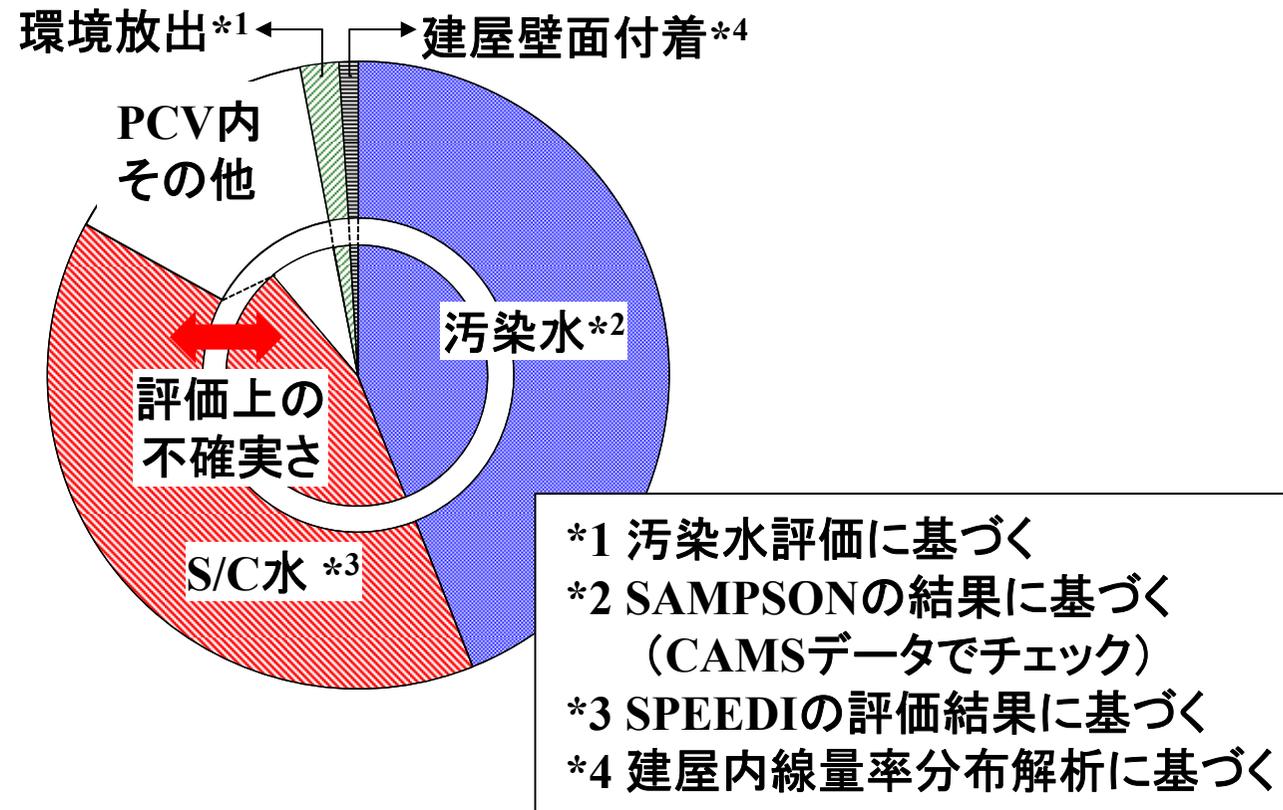
- WSPEEDI:**
1. 仮想放出量に対し、気象データベースに基づく空間分散解析  
=> 仮想FP分布
  2. 環境測定データに基づく絶対放出量
  3. 上記1の放出量を上記2の絶対放出量で規格化」
  4. 時間依存FP汚染分布マップの作成



- WSPEEDI:**
- 汚染の経時変化
  - 時間依存放出量
- ↓
- 積算放出量



出典 [4] H. Nagai, et al., "Source Term Estimation for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident by Combined Analysis of Environmental Monitoring and Plant Data through Atmospheric Dispersion", Proc. 16th Int. Topical Meeting Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-16), Hyatt Regency Chicago, Chicago, IL, USA, August 30-September 4 (in CD).



新しいデータに基づき、適宜リバイスする必要がある

- 福島廃炉関係には、汚染水処理、除染他、実務ベースで水化学部会メンバーの多くが関与
- 部会として寄与できるのは、FPに関わる基礎的な技術伝承
  - FP関連の基礎テキスト作成と研究専門委員会を立ち上げてより実用的なテキスト作成
- 水化学ロードマップIIIでは、基盤技術に「FPの発生と移行」を追加

出典 [5] S. Uchida, et al., "Evaluation of fission product behavior in Fukushima Daiichi NPP under severe accident – Understanding their behavior based on coupling of the forward and backward evaluation procedures", Int. Conf. on Water Chemistry of Nuclear power Systems, NPC2016, Oct. 2-7, 2016, Brighton, UK, Nuclear Institute (2016) (CD)

# FP挙動研究専門委員会

## 水化学ロードマップIIIでの位置づけと活動状況

No.12

### 水化学ロードマップ

目標： 水化学による原子力発電プラントの  
安全性・信頼性維持への貢献

- ・ 構造材料の高信頼化
  - ☆応力腐食割れ
  - ☆配管減肉
  - ☆SG長期信頼性確保
  - ☆状態基準保全
- ・ 燃料の高信頼化
  - ☆被覆管の健全性
  - ☆性能維持(CIPS)
- ・ 環境負荷軽減
  - ☆プラント内被ばく低減
  - ☆環境影響軽減
  - ☆福島対応技術
- ・ 基盤技術
  - ☆腐食の基盤技術
  - ☆過酷事故時のFP挙動

### 「FP挙動」研究専門委員会準備会

委員長	勝村 庸介(日本RI協会)
委員	青木 政徳(関電)
	石原 伸夫(三菱重工)
	伊藤 あゆみ(エネ総研)
	内田 俊介(エネ総研)*1 幹事
	逢坂 正彦(原子力機構)*1
	高阪 裕二(NDC)*1
	唐沢 英年(エネ総研)
	桐島 陽(東北大学)*2
	鈴木 晶大(NFD)*1
	荘田 泰彦(三菱重工)
	高木 純一(東芝)
	中野 純一(NDF)
	中野 佑介(原電)
	中村 康一(電中研)
	橋本 資教(電中研)
	塙 悟史(原子力機構)
	久宗 健志(原電)
	古川 徹(東電)
	三輪 周平(原子力機構)*1
	和田 陽一(日立)

\*1 核燃料部会

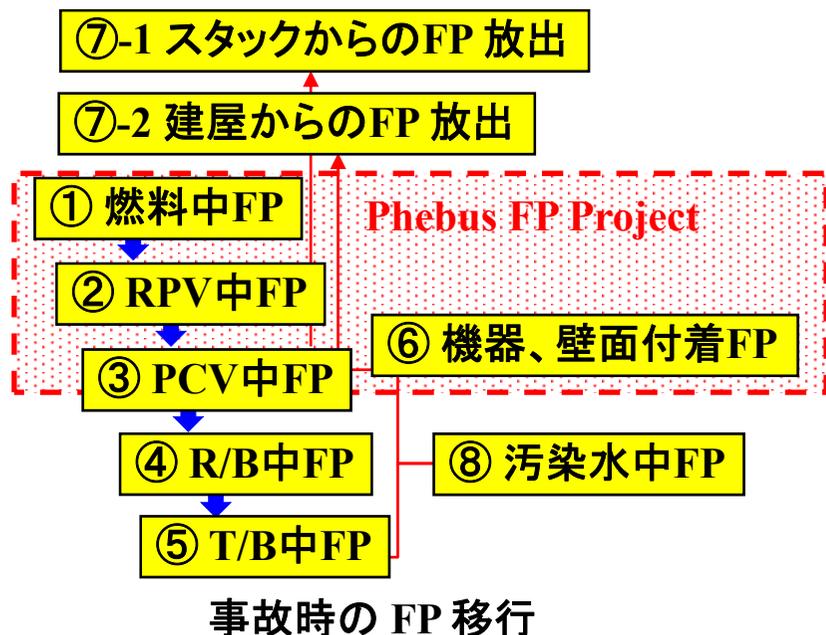
\*2 BE部会

- Phébus FP プロジェクト関連70余件の公開論文を精査
- 17回の委員会で実験結果の相互比較
- 技術報告書執筆、C&R、雑誌社からの図表の引用許諾を得て4月発行予定

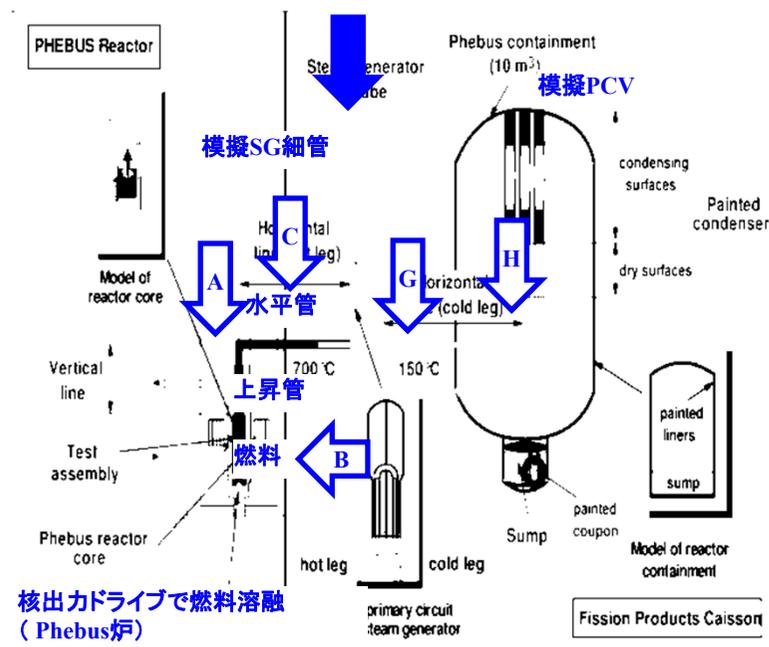
# Phébus FP Projectの狙いと原子炉事象との相違点

Phébus FPプロジェクト(設立:1988年)

- ・フランス放射線防護原子力安全研究所(IRSIN)と欧州共同体(EC/JRC)が共同で主催
  - ・カダラシュ研究所のPhébus研究炉を用いた過酷事故時の燃料損傷とFP放出移行に関する大規模な総合実験
- プログラムパートナー: EDF(仏国)、USNRC(米国)、CANDU Owners Group(カナダ)、JNES、AEA(日本)、KAERI(韓国)、Federal Nuclear Safety Inspectorate、PSI(スイス)



事故時のFP移行



核出カドドライブで燃料溶融 (Phébus炉)

項目	原子炉事故現象	Phébus FPプロジェクト
スケール効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・格納容器容量 (m<sup>3</sup>) ~1000</li> <li>・格納容器のS/V比(m<sup>-1</sup>) ~0.5<sup>1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>~10</li> <li>2~300</li> </ul>
時間効果	~5 y	~1000 h
FP移行経路	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未知の経路</li> <li>・対象範囲</li> <li>・経路</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>すべて設計通り</li> <li>格納容器まで</li> <li>実験条件で決まる</li> </ul>
測定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロセスモニタ</li> <li>・放射線測定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>適正</li> <li>主要部(実験後の破壊測定)</li> </ul>
	探索要(過酷事故解析)	
	適正	
	限定的 S/C D/W の CAMS,環境データ	

# Phébus FP プロジェクトを支えるプログラム

APC: Aerosols in the containment

In-pile loop実験 (PITEAS, VICTOIA) のデータを FPT0 の計算の訓練に適用

CHEM: Vapor/aerosol reactions and nucleation

FPT0 の結果評価のための輸送コードのための基礎データ作成  
(乾燥あるいは蒸気条件下での構造材や吸着材からのエアロゾル化学)

RVP/REVAP: FP re-vaporisation

複数の独立実験によりデータ生成

FALCON: experimental program  
in benchmark exercises

上記データを比較

ASTERISM: Archive for source term  
information and system models

アーカイブスの作成

OSPA: Oxidation phenomena in severe accident

燃料劣化、FP の揮発性などの加速特性のデータ生成

IC: Iodine Chemistry

OIC: Organic iodine chemistry

ICHEMM: Iodine chemistry and mitigation Mechanisms

Phébus FP の結果の理解のためのモデル開発

MP, LPP; FP release from molten pool and late phase phenomena

関連するモデル開発等に関する文書の発行

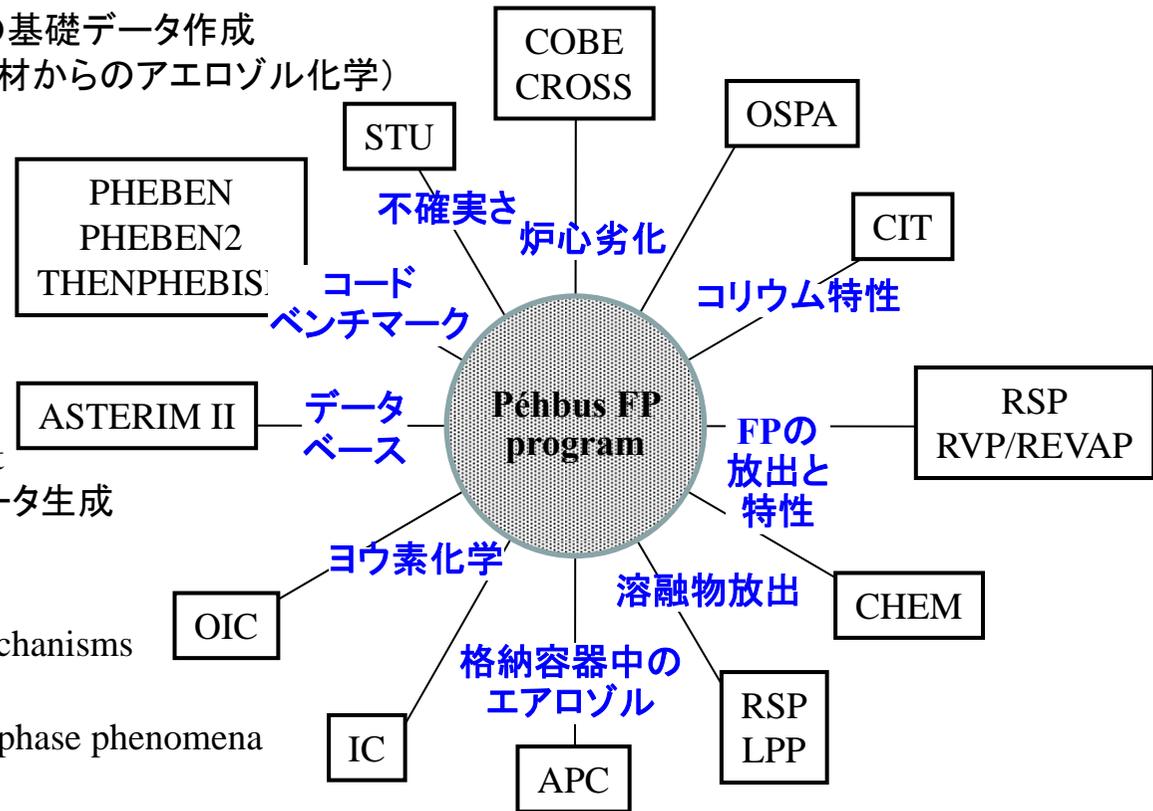
STU: Evaluation of Key Uncertainties in Predicting the Source Term from Severe Accidents

不確かさの評価

COBE, CIT, ENTHALPY, COLOSS: Core degradation and materials interaction

材料相互作用、デブリベッド等のモデル開発

PHEBEN, PHEBEN2, THENPHEBISP: Model development and code calculations for the interruption of Phébus FPモデル開発



# Phébus FPプロジェクト 実験ループ

## (主要構造とFP移行パス)

### ① 燃料部

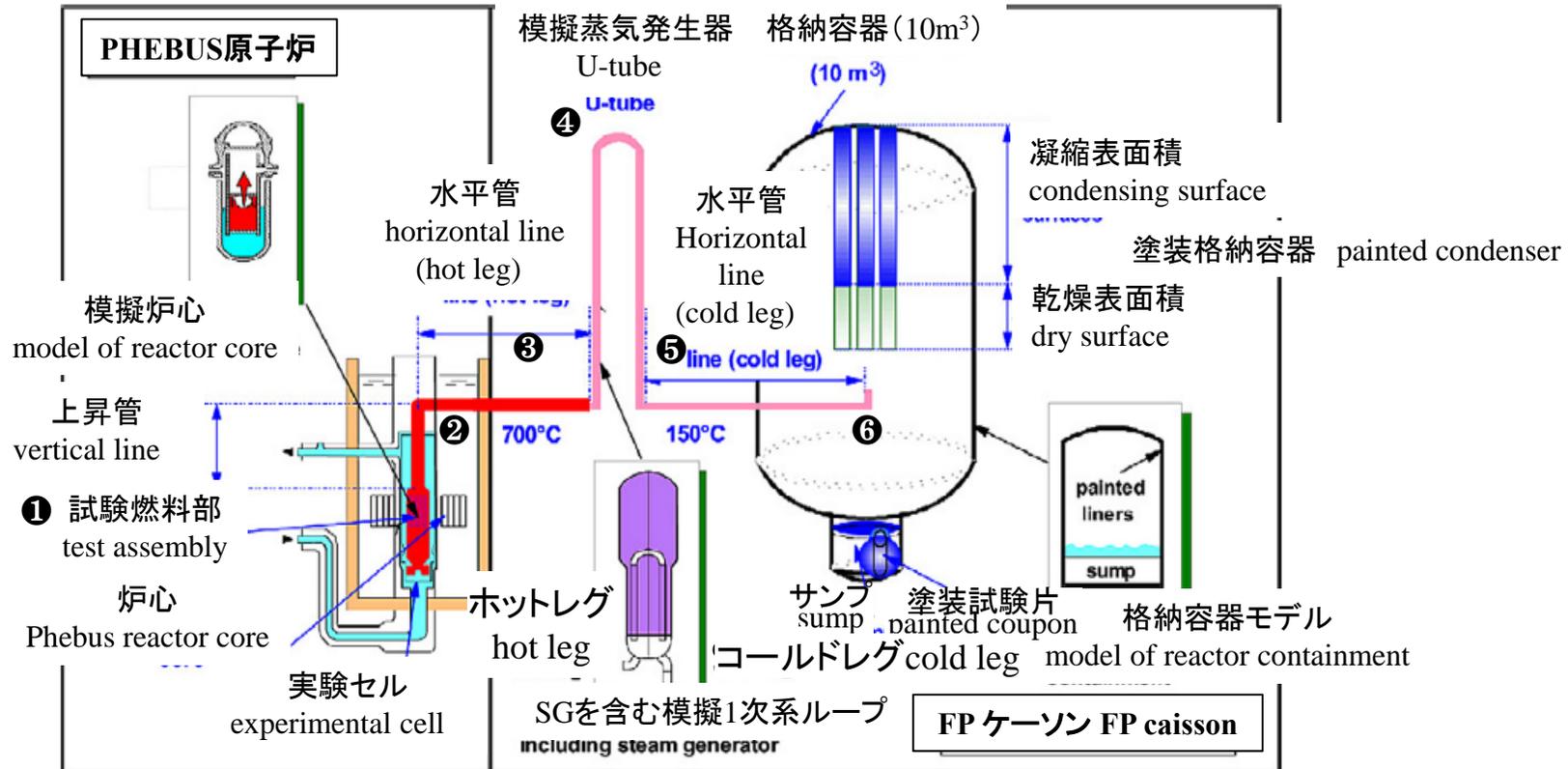
- ・ 内径: 100mm, 全長: 6m、
- ・ 燃料体: 20体 外径: 9.5mm  
有効長: 1000mm
- 4.5%ER UO<sub>2</sub> 全量: 10.5kg
- ・ 制御棒(燃料体群中央): Ag/In/Cd, B<sub>4</sub>C

### ② 上昇管部

- ・ 内径: 50 mmと30 mm 全長: 3422 mm  
S/V: 133 m<sup>-1</sup>
- ・ 材料: INCONEL600(Niコーティング)
- ・ ガス温度: 973Kまで低下
- ・ エルボージョイントで水平間につながる

### ③ 水平管部(ホットレグ)

- ・ 内径: 30 mm 全長: 5130 mm S/V: 133 m<sup>-1</sup>
- ・ 材料: INCONEL600(Niコーティング)
- ・ ガス温度: 973K一定
- ・ 水平部入口から3797 mmでサンプリング炉に接続



### ④ 水平SG管部

- ・ 内径: 20 mm  
全長: 9663 mm S/V: 200 m<sup>-1</sup>
- ・ 材料: INCONEL600
- ・ 管壁温度: 423K一定

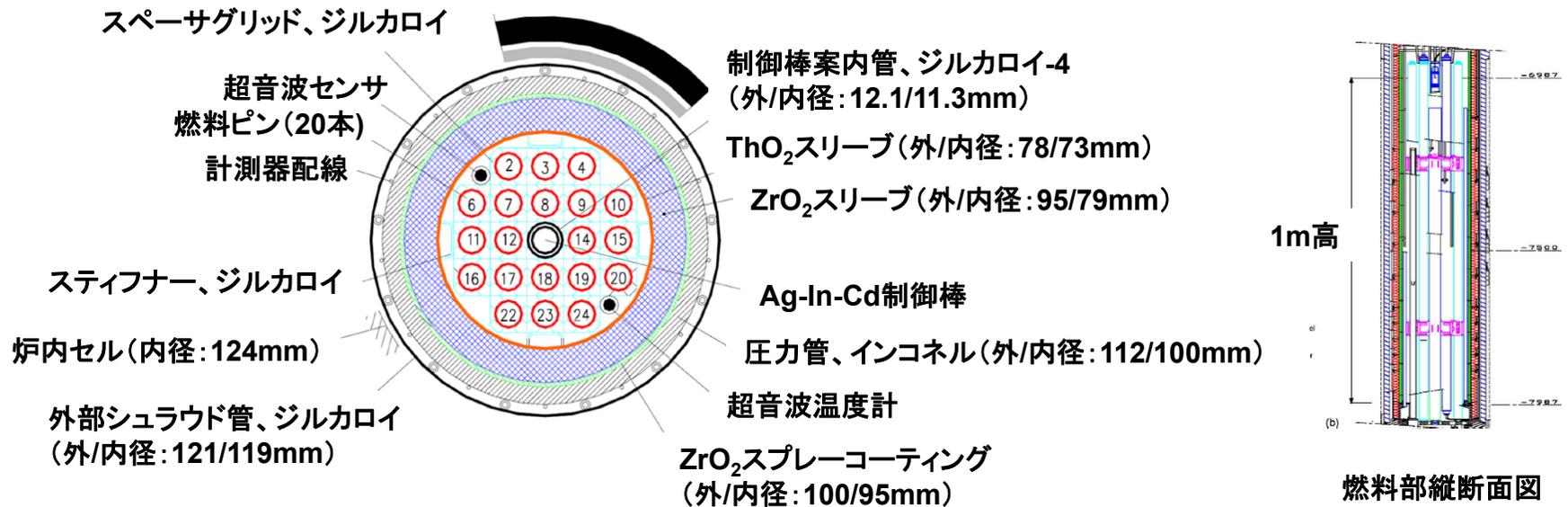
### ⑤ 水平管部(コールドレグ)

- ・ 内径: 30 mm  
全長: 3824 mm S/V: 133 m<sup>-1</sup>
- ・ 材料: SS 304L
- ・ ガス温度: 423K一定
- ・ 水平部入口から3797 mmで  
サンプリング炉に接続

### ⑥ 格納容器部

- ・ 内容積: 10 m<sup>3</sup> 内径: 1.8 m  
高さ: 5 m アスペクト比: 2.8(高さ/径) S/V: 2.6m<sup>-1</sup>
- ・ コンデンサ 3体(凝縮部: 1718 mm 非凝縮部: 782 mm)  
凝縮面積: 0.81 m<sup>2</sup>/体
- ・ 壁温度: 若干加熱(蒸気凝縮阻止)
- ・ サンプに接続(開口径: 0.584 m 容積: 0.1 m<sup>3</sup>)

# Phébus FPプロジェクト 実験施設の概要 (FPT0~FPT3試験部断面図とサンプリング条件)



## FPT0-4実験でのサンプリング条件

### ③水平管ホットレグ

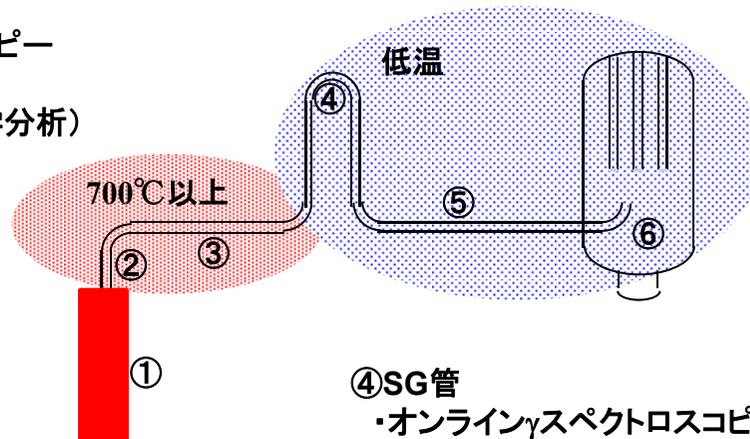
- ・オンラインγスペクトロスコピー
- ・試験後γスキャン
- ・サンプリング(γ測定、化学分析)

### ②上昇管

- ・試験後γスキャン

### ①炉内(燃料体)

- ・照射後破壊試験
- ・γスペクトロスコピー
- ・X線トモグラフィ
- ・エミッションCT



### ⑥格納容器

- ・オンラインγスペクトロスコピー
- ・サンプリング(γ測定、化学分析)

### ④SG管

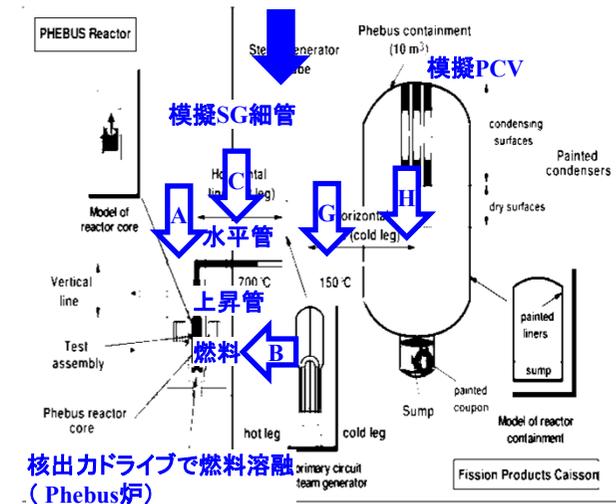
- ・オンラインγスペクトロスコピー
- ・試験後γスキャン、化学分析

### ⑤水平管コールドレグ

- ・オンラインγスペクトロスコピー
- ・サンプリング(γ測定、化学分析)

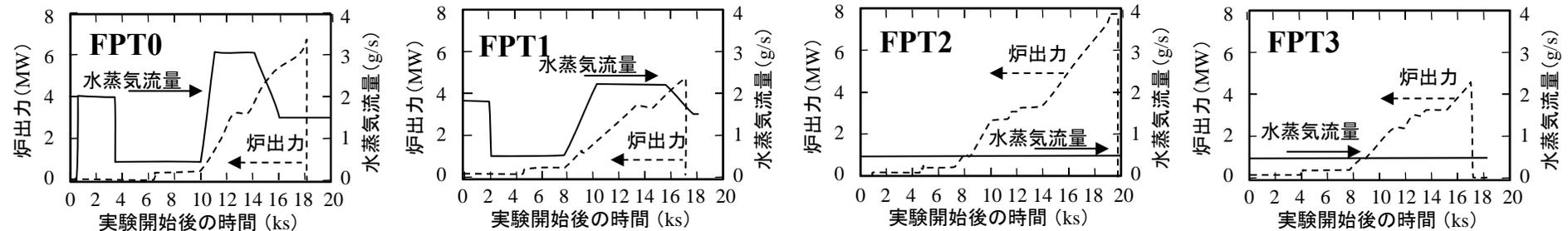
# FP移行についての測定

計測点設置位置	パラメータ	計測機器
A 炉心部上部プレナム	温度	24 TC
B 燃料集合体	温度	45 TC 2 超音波温度計
	中性子束	4 フィッションチェンバ
C ループ:SG入口部	温度	11 TC
	圧力	1 差圧伝送器
	流量	3 組合せTC
	酸素ポテンシャル	2 酸素センサ
	γ線	2 γ線スペクトロメータ
	FP	7 フィルタ, 2 インパクト, 4 キャプセル, 1 熱勾配管
	エアロゾル密度	1 光学式オンラインモニタ
F 蒸気発生器(SG)	温度	25 TC
	γ線	1 γ線スペクトロメータ (+5 NaI チンチレータ)
	FP	SG 配管(破壊測定)
G ループ:SG出口部	温度	3 TC
	圧力	2 差圧伝送器
	γ線	1 γ線スペクトロメータ
	FP	7 フィルタ, 2 インパクト, 4 キャプセル
H 格納容器	温度	31 TC + 27 TC (コンデンサ管内)
	圧力	4 差圧伝送器(ガス中)
	湿分	2 湿分セル
	水位	4 レベル計
	酸素ポテンシャル	2 酸素センサ, 2水素センサ
	γ線	3 γ線スペクトロメータ(うち1個はMaypack)
	サンプル水pH	2 pH 計
	サンプル水pI	2 ヨウ素電極、うち、一つはon-line
	FP	8 フィルタ, 4 インパクト, 5 ヨウ素選択フィルタ(Maypacks) 1 on-line 12 ガスカプセル, 8 液体カプセル, 8 付着クーポン, 1 塗装サンプルクーポン



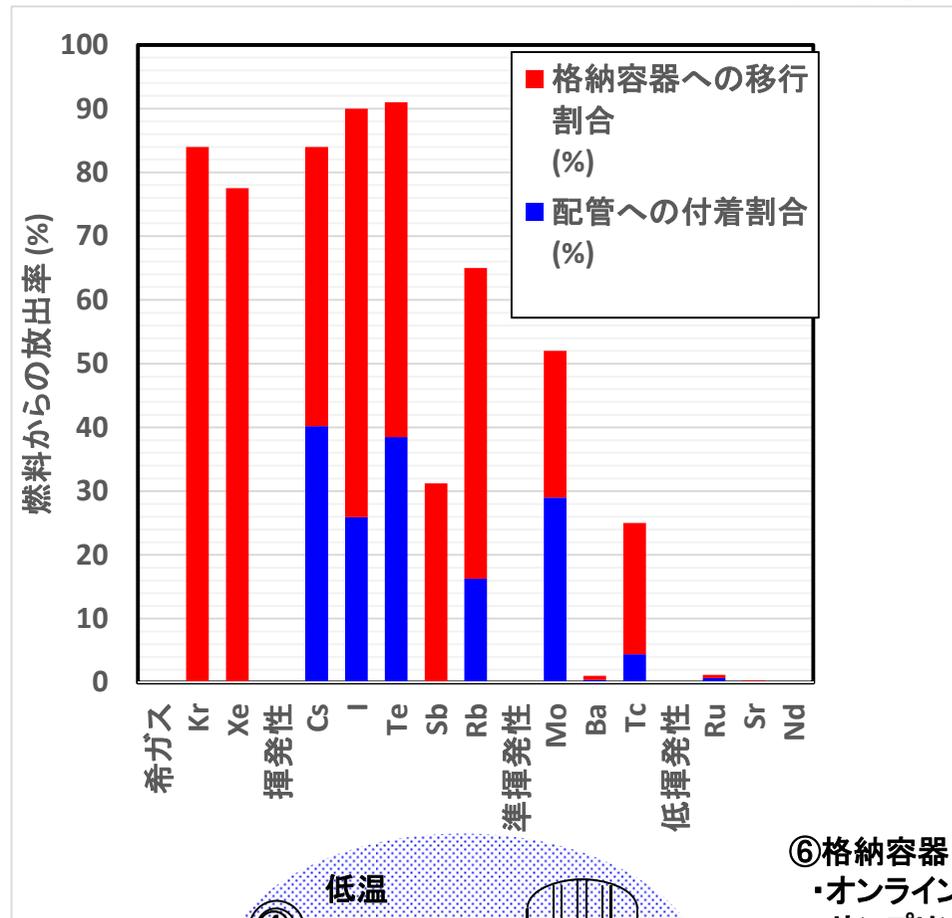
# Phébus FP プロジェクトの試験マトリックス

試験#	燃料集合体	燃料劣化と実験条件	研究目的		実験日
			(1次系)	(格納容器)	
FPT0	新燃料棒20体 (9日間予備照射) AgInCd制御棒1体	燃料溶融まで出力増大 低圧・高蒸気雰囲気 でFP放出	配管-SG管までの FP滞留 付着量評価	エアロゾル評価 ヨウ素放射化学 サンプル水pHの影響	1993/12/2
FPT1	BR3燃料(~23GWD/t) (6日間予備照射) AgInCd制御棒1体	FPT0と同じ	FPT0と同じ	FPT0と同じ	1996/7/26
FPT2	BR3燃料(~23GWD/t) AgInCd制御棒1体 (9日間予備照射)	FPT0と同じ ただし高蒸気雰囲気	FPT0と同じ エアロゾルに及ぼす ホウ酸の影響評価	FPT0と同じ サンプル水pH: 9一定	2000/10/12
FPT3	BR3燃料(~24GWD/t) B <sub>4</sub> C制御棒1体	FPT2と同じ	FPT2と同じ	FPT2と同じ pH:5 H <sub>2</sub> 再結合クーポン	2004/11/18
FPT4	UO <sub>2</sub> -ZrO <sub>2</sub> 粒子 EDF燃料(~38GWD/t) AgInCd制御棒1体 追照射無	デブリベッドでの 溶解進展 低揮発性FPと アクチノイドの放出	ループ上部フィルタ でのエアロゾル滞留 上記の試験後検査		1999/7/22
FPT5	FPT1と同じ	空気混入下のFP放出	FP付着、化学形態	FPT1/FPT2と同じ	未実施



FPT0-4の実験条件の比較(流動条件)

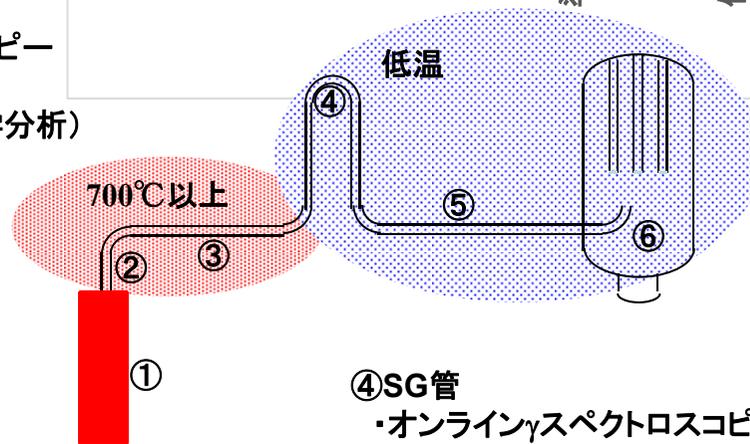
# Phébus FP プロジェクトFPT1の成果例



- ③水平管ホットレグ
- ・オンラインγスペクトロスコピー
  - ・試験後γスキャン
  - ・サンプリング(γ測定、化学分析)

- ②上昇管
- ・試験後γスキャン

- ①炉内(燃料体)
- ・照射後破壊試験
  - ・γスペクトロスコピー
  - ・X線トモグラフィ
  - ・エミッションCT

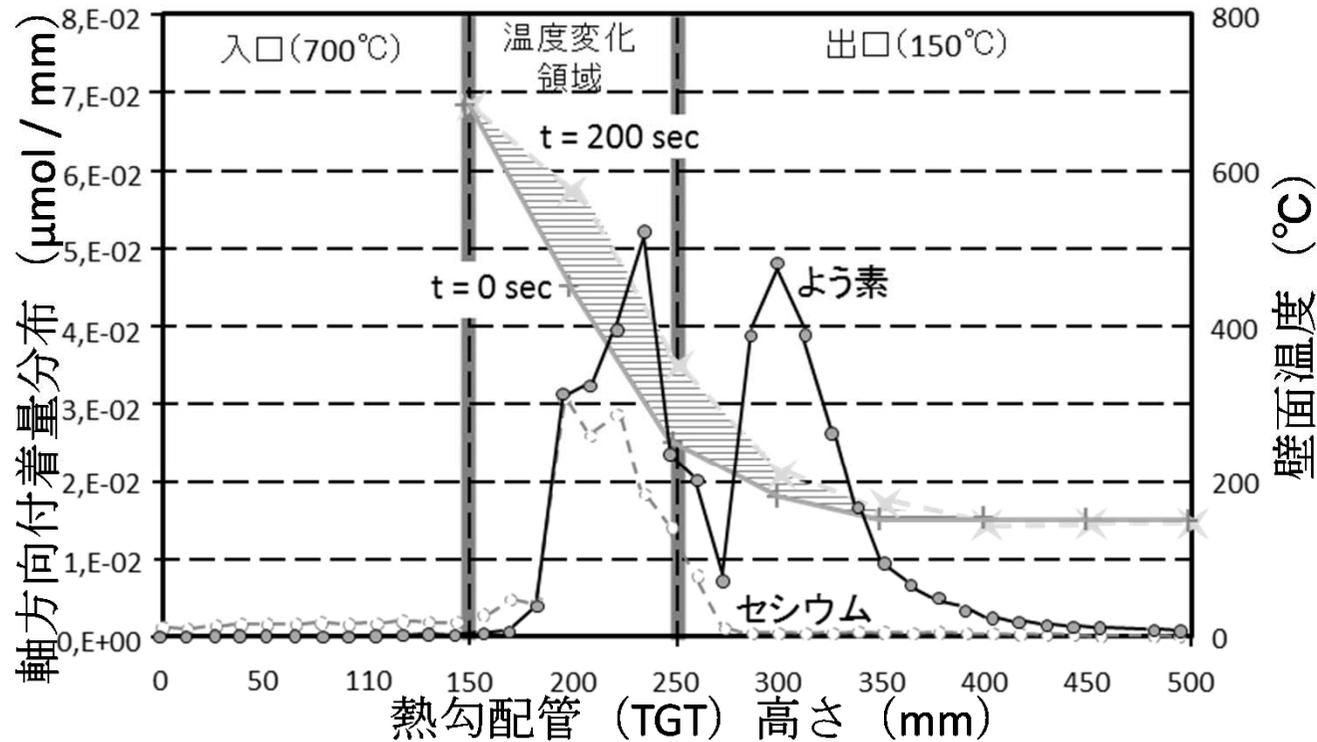


- ⑥格納容器
- ・オンラインγスペクトロスコピー
  - ・サンプリング(γ測定、化学分析)

- ④SG管
- ・オンラインγスペクトロスコピー
  - ・試験後γスキャン、化学分析

- ⑤水平管コールドレグ
- ・オンラインγスペクトロスコピー
  - ・サンプリング(γ測定、化学分析)

FPT2:PWR仕様でAgInCd制御棒使用:格納容器サンプのpHは9



格納容器内のヨウ素

FPT0,1

AgI がヨウ素を固定  
ガス状ヨウ素低

2=>0.15%

その主体は有機ヨウ素

FPT2:無機ヨウ素主

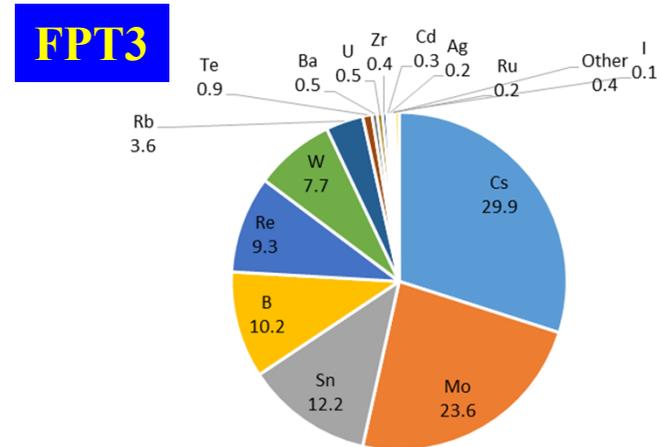
濃度低;1=>0.2%

アルカリ性サンプ水が  
ヨウ素トラップ

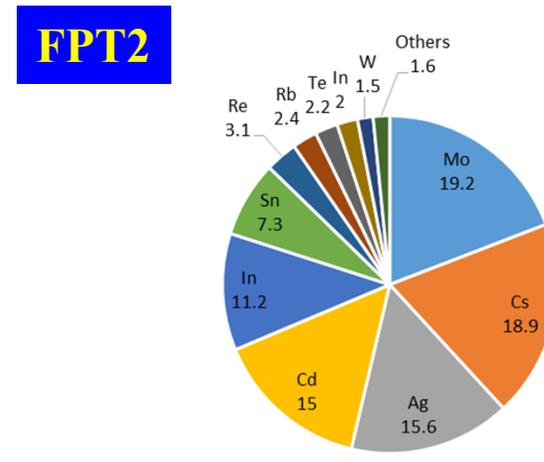
図4.4-16 FPT2の燃料加熱フェーズにおけるヨウ素およびセシウムの付着量分布の壁面湿度(サンプリング開始時および終了時)依存性

## FPT3では制御棒にB<sub>4</sub>Cを使用:ボロンの影響増大、Agの影響緩和

挙動	結果概要
被覆管の酸化と水素発生	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素発生速度はFPT2実験と同様で水蒸気雰囲気の結果よりも低い</li> </ul>
燃料リロケーション	<ul style="list-style-type: none"> <li>B<sub>4</sub>C制御材において高温で低粘性の酸化ホウ素(B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)溶融体が形成され、これにより制御棒損傷が加速された</li> </ul>
FP及び制御材の放出挙動	<ul style="list-style-type: none"> <li>燃料上部グリッド箇所にてCs, I等の揮発性FPが沈着した</li> <li>制御棒破損時にCO, CO<sub>2</sub>が放出した</li> <li>Clに対してBの放出量は少量であった</li> </ul>
FP及び制御材の移行/付着挙動	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ag-In-Cdが存在しないため、ヨウ素のエアロゾル形成が抑制され、ガス状のヨウ素の割合が高くなった</li> <li>B化合物がコールドレグ入口で多量に沈着し、配管を一部閉塞した</li> <li>ヨウ素(エアロゾル状)はB化合物の配管閉塞により格納容器への移行割合が低くなった</li> <li>エアロゾルにBが含まれている以外、エアロゾルの組成は他の実験とほぼ同じであった</li> <li>格納容器内のヨウ素は主にガス状であった。</li> <li>一次冷却系条件においてガス状ヨウ素の生成割合が高かった</li> </ul>
ヨウ素化学	<ul style="list-style-type: none"> <li>凝縮器ペイント材に吸着したガス状ヨウ素がペイントと反応して有機ヨウ素を生成した</li> </ul>



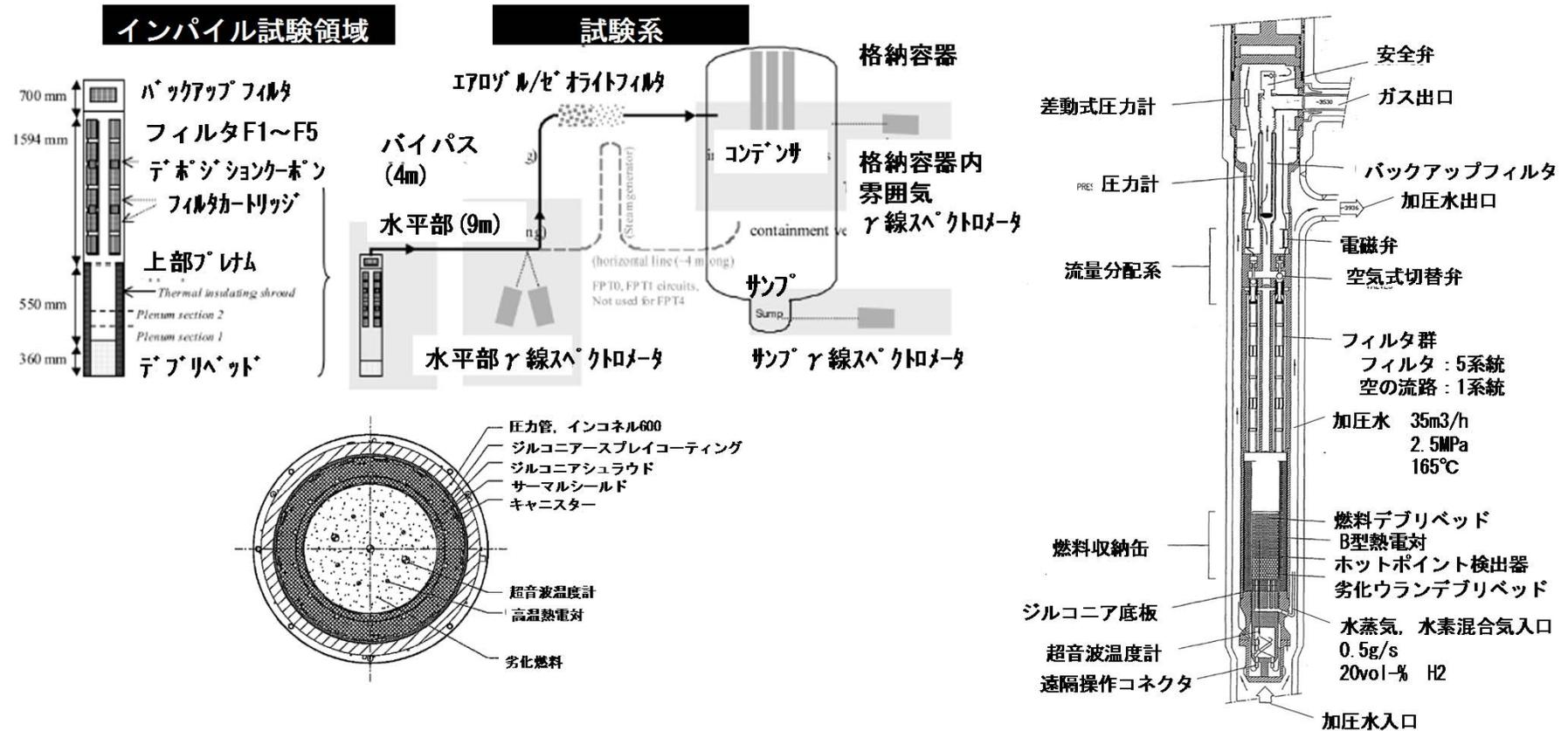
格納容器に放出されたエアロゾル成分



FPT2

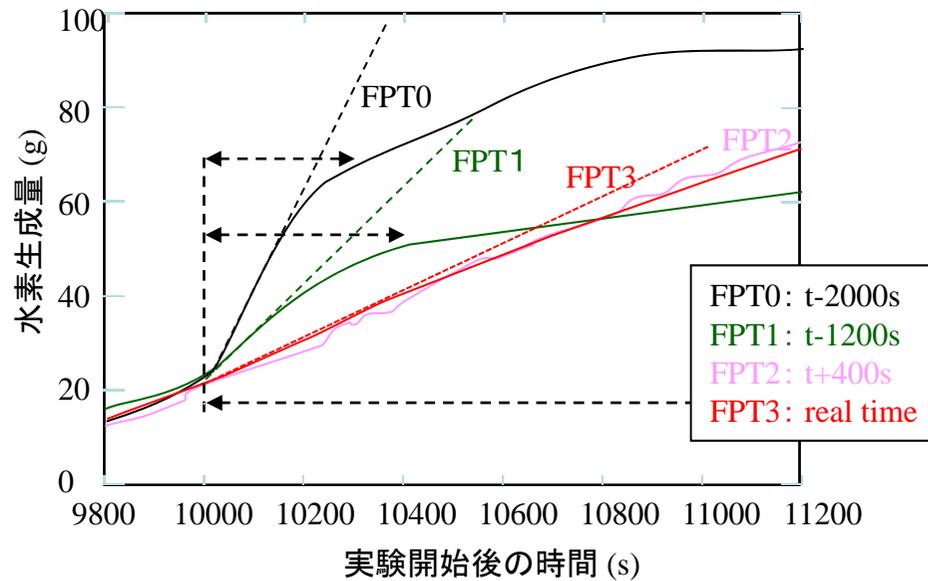
# Phébus FP プロジェクトFPT4の成果例

FPT4では燃料損傷晚期での燃料の気化、低揮発性FPの放出挙動に着目

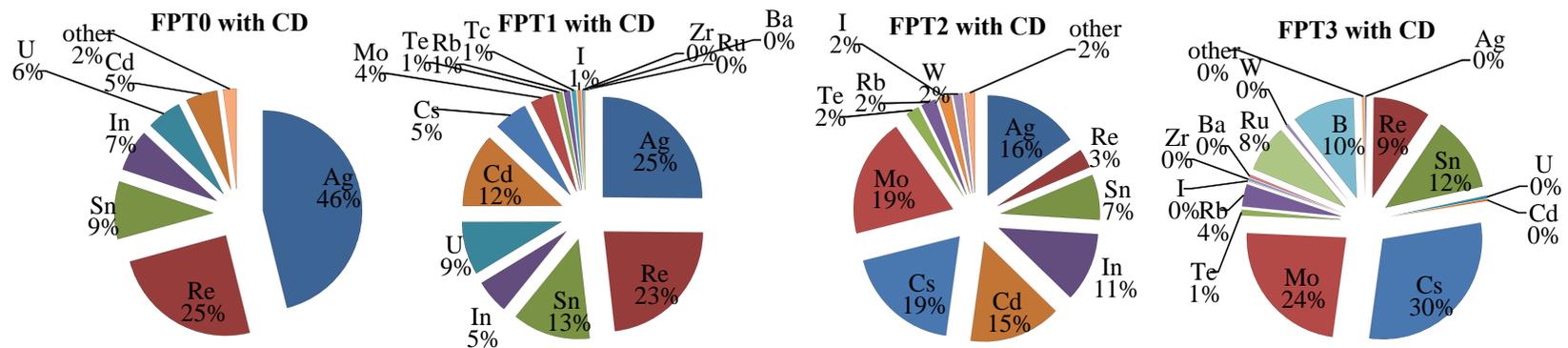


# Phébus FPプロジェクトから得られたFP挙動の実験結果の一例 No.26

## (水素発生量、エアロゾルの成分)



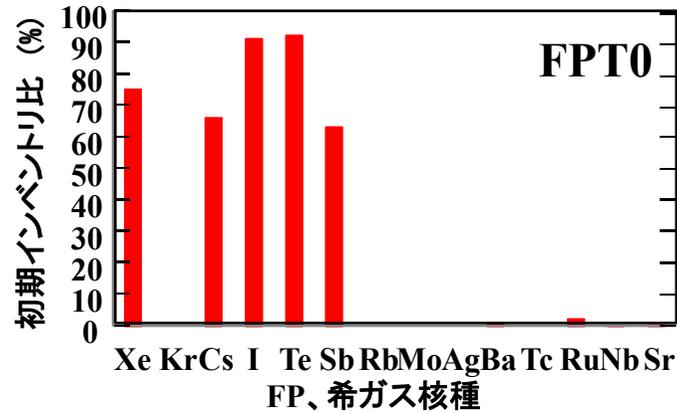
燃料被覆管主酸化フェーズにおける水素生成(計算値)



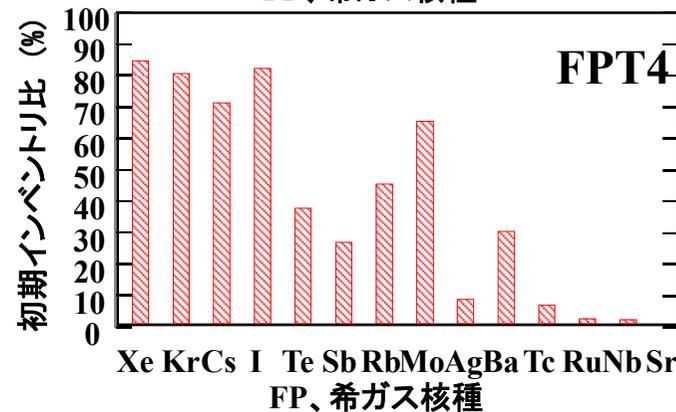
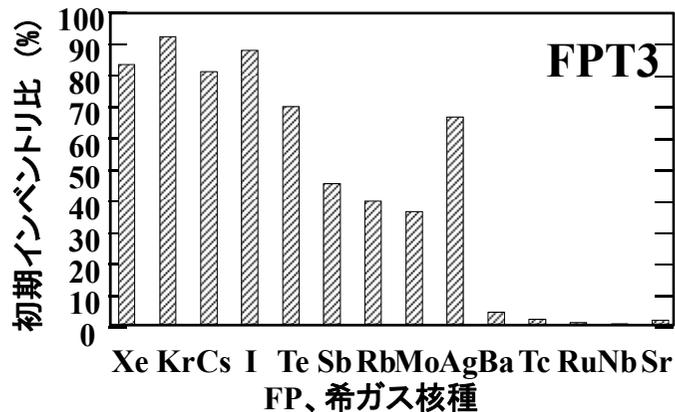
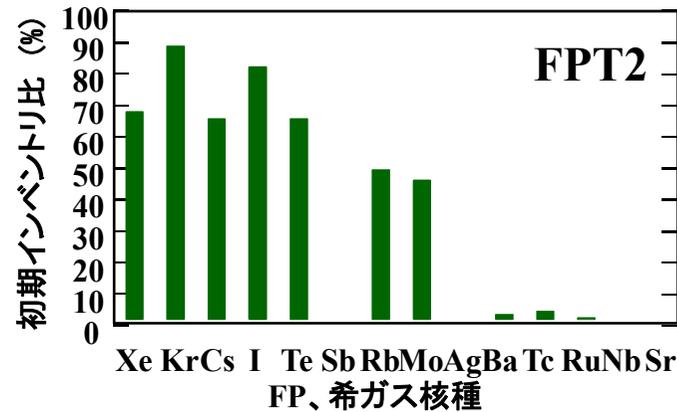
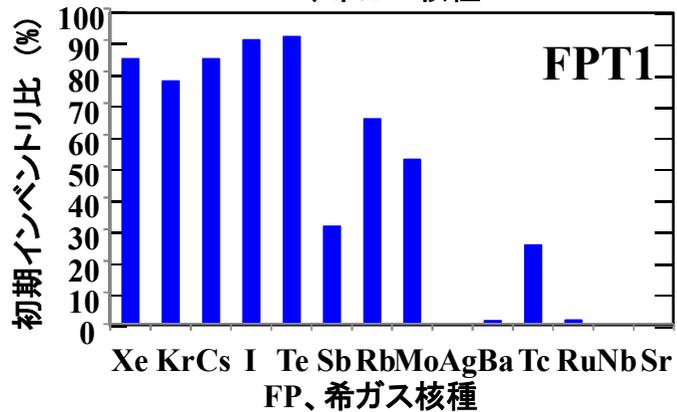
格納容器に流入したエアロゾルの組成(全物質)

# Phébus FPプロジェクトから得られたFP挙動の実験結果の一例

(FPループ、格納容器への放出量)



得られたデータの再評価が必須。  
Phébus FPクトの全貌が把握出来た段階で  
すべてのオリジナルデータが開示されてはいない。  
再評価は今後の課題



# 技術報告書概要

## Phébus FPプロジェクトにおける核分裂生成物挙動のまとめ - 福島プラント廃炉計画および過酷事故解析への適用」(仮題)

### 目次

#### 要旨

はじめに

1. 緒言
  2. FPの基礎とFP研究の歴史的変遷
  3. 通常運転時のFP挙動の概要
  4. Phébus FPプロジェクトの主要成果のまとめ
    - 4.1 Phébus FPプロジェクトの概要
    - 4.2 FPT0の概要と主要成果
    - 4.3 FPT1の概要と主要成果
    - 4.4 FPT2の概要と主要成果
    - 4.5 FPT3の概要と主要成果
    - 4.6 FPT4の概要と主要成果
    - 4.7 Phébus FPプロジェクト全体を通して得られたもの
  - 5 福島第一原子力発電所事故時のFP挙動
  6. 実機事故とPhébus FPプロジェクトの結果比較
  7. 実験結果を用いた解析コードの評価
  8. 今後に残された課題
  9. 結言
- おわりに

- 水化学部会技術報告書として4月末発行の予定
- 「過酷事故時の核分裂生成物挙動」研究専門委員会発足予定(4月末を予定)  
本報告書を共通のデータベースとして、現象の掘り下げ、過酷事故コードの検証他に活用