

2021年3月12日 柏崎刈羽原発 緊急時演習 DIANA評価に用いたソースチームにつきまして

2021年4月19日



東京電力ホールディングス株式会社

ソースタームの評価方法

- ソースタームはシナリオによって変わるため、設置変更許可申請におけるSA対策の有効性評価でも用いているMAAP (Modular Accident Analysis Program) コードによって評価
- ただし、緊急時には即応性が求められることや、効率的な人的リソースの活用が必須であることから、以下の3段階で対応を変更
 - ① GE22事象等により炉心への注水が途絶え、燃料損傷後の格納容器ベントの可能性が生じた段階（注水機能が復旧するまでの間）
 - ⇒ [] 等を変更した様々なケースのMAAP解析を事前に実施してデータベースを作成しており、その中から事象進展に近いデータを選択
 - ② 上記状態から注水機能が復旧した段階（人的リソース等の関係から次のパターンの評価が可能となるまでの間）
 - ⇒ 主に [] に着目して事前に早見表を作成しており、その中から事象進展に近いデータを選択
 - ③ 緊急時対策本部要員またはバックオフィス要員等によってMAAPを用いた事象進展予測が可能となった段階
 - ⇒ 事象進展を踏まえたMAAP解析を実際実施

ソースタームの評価方法（補足）

- ②早見表は事前に実施したMAAP解析結果を基に作成したもの



- ①データベース、②早見表ともに事前に評価したものであり、



- 加えて、緊急時対応は発電所の緊急時対策要員が主であり、ソースターム評価も同様に発電所要員が実施する必要がある。
そのため、事象発生初期や厳しい事象進展が起こっている最中に、事象進展に応じた入力ファイルを作成してMAAP解析を実施することは不可能である。
従って、①データベースや②早見表を事前に準備し、効率的に対応することが肝要である。

- DIANA評価は2種類説明しており、それぞれ以下のソースターム評価方法を採用
 - 午後の訓練再開時、最初に説明したDIANA評価
(2021.3.12 10:45時点の評価)
: ②早見表から選択
【理由】 評価の要請をいただいた午前中断面では無注水のままであったが、注水機能復旧の見込みがたっていたことから②を選定
(緊急時演習当日に対応)
 - 2番目に説明したDIANA評価
(2021.3.13 7:30時点の評価)
: ③MAAP解析実施
【理由】 約1日スキップしている間に実施した評価の説明という位置付けであったため、MAAP解析を行う人的リソースも確保できたものと設定して③を選定
(条件付与の1つとして、シナリオ作成に用いたMAAP解析結果を使用して事前に準備。
従って、シナリオで考慮している間欠PCVスプレー等の効果は全て含んだ結果。)

● DIANA入力用ソースタームは以下の通り

- 午後の訓練再開時、最初に説明したDIANA評価 (②早見表)
(2021.3.12 10:45時点の評価)

		希ガス (0.5MeV換算)	全ヨウ素 (FCVSあり)	無機	有機	Cs-137沈着 等価 (FCVSあり)	Cs-134 (FCVSあり)	Cs-136 (FCVSあり)	Cs-137 (FCVSあり)
放出開始時刻 (h)	放出終了時刻 (h)	Bq(0.5MeV 換算)	Bq(I-131 等価量)	Bq(I-131 等価量)	Bq(I-131 等価量)	Bq(Cs-137 沈着等価量)	Bq(生値)	Bq(生値)	Bq(生値)
0	1	1.6E+18	1.8E+11	2.6E+10	1.5E+11	9.2E+09	2.2E+09	5.6E+08	1.8E+09
1	6	3.3E+16	1.5E+09	2.2E+08	1.3E+09	2.8E+08	6.3E+07	1.7E+07	5.2E+07
6	12	7.0E+15	1.5E+08	2.3E+07	1.3E+08	5.7E+08	1.4E+08	3.4E+07	1.1E+08
12	18	6.3E+15	9.2E+07	1.4E+07	7.8E+07	4.6E+08	1.1E+08	2.8E+07	8.7E+07
18	24	5.2E+15	5.8E+07	8.6E+06	4.9E+07	2.9E+08	6.6E+07	1.7E+07	5.4E+07

- 2番目に説明したDIANA評価 (③MAAP解析)
(2021.3.13 7:30時点の評価)

		希ガス (0.5MeV換算)	全ヨウ素 (FCVSあり)	無機	有機	Cs-137沈着 等価 (FCVSあり)	Cs-134 (FCVSあり)	Cs-136 (FCVSあり)	Cs-137 (FCVSあり)
放出開始時刻 (h)	放出終了時刻 (h)	Bq(0.5MeV 換算)	Bq(I-131 等価量)	Bq(I-131 等価量)	Bq(I-131 等価量)	Bq(Cs-137 沈着等価量)	Bq(生値)	Bq(生値)	Bq(生値)
0	1	1.5E+18	1.5E+09	1.2E+09	3.5E+08	4.1E+10	9.6E+09	2.5E+09	7.8E+09
1	6	8.1E+16	6.9E+07	5.3E+07	1.6E+07	7.4E+09	1.7E+09	4.5E+08	1.4E+09
6	12	9.4E+14	5.6E+07	4.3E+07	1.3E+07	4.7E+09	1.1E+09	2.9E+08	9.0E+08
12	18	7.4E+14	5.9E+07	4.5E+07	1.4E+07	3.0E+09	7.0E+08	1.8E+08	5.7E+08
18	24	6.2E+14	5.9E+07	4.5E+07	1.4E+07	2.0E+09	4.5E+08	1.2E+08	3.7E+08

- これらの値は各放出開始時刻～終了時刻で放出する積算値のため、これを時間で割った放出率[Bq/h]で放出するものとしてDIANA評価を実施

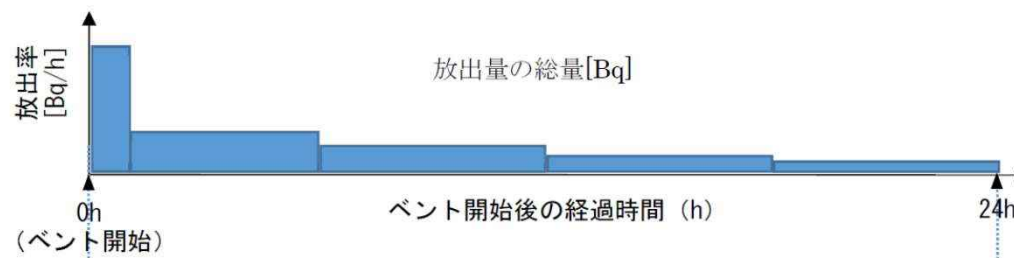
- 2番目に説明したDIANA評価については「DIANAによる放射性物質拡散予測結果の通知〔2回目〕」という資料（頭紙）を付けており、その中でソースタームは以下の記載

- ・ 大気中の放出量（上記のフィルタベントの除去能力を考慮）〔別紙※1〕

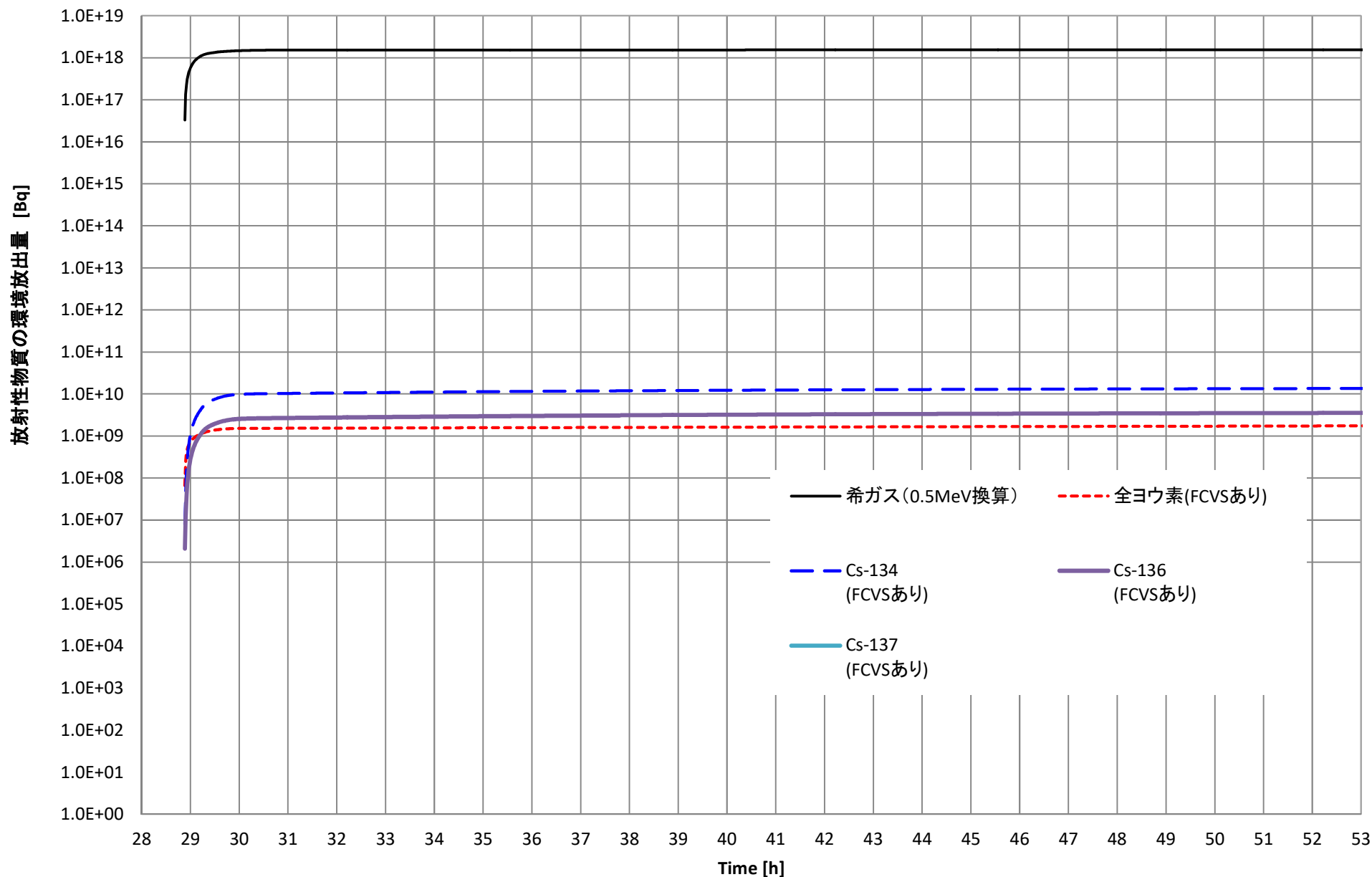
希ガス(0.5MeV換算)	よう素(I-131甲状腺線量換算)	セシウム(Cs-137沈着等価)
1.5×10^{18} [Bq]	1.7×10^9 [Bq]	5.8×10^{10} [Bq]

- これは前頁のソースタームの0～24h合算値の一部を代表として記載したものの
- なお、前頁下段の放出率の設定方法については、同資料別紙にも以下の通り明記

※2：ベント開始後、継続的かつ段階的に放射性物質が放出されることが想定されるため、ベント開始（ベント弁開）から24時間後までの放出量を総量として、一定の時間帯毎に均等な放出率で放出すると仮定して拡散評価を行っています（図1参照）。なお、ベント弁の開操作は格納容器内のパラメータや他の除熱手段の復旧見込み等を勘案し判断するものであり、24時間後にベント弁を開操作することを意図しているものではありません。



【参考】 ソースターム（2番目） MAAP解析結果



【参考】 ソースターム（2番目）MAAP解析結果（補足）

- 前頁のソースターム解析結果における炉心の状態として、炉心**溶融**割合をMAAP出力パラメータから算出すると以下の通り

炉心**溶融**割合 =

- なお、福島第一原子力発電所事故前は以下のグラフを用いて炉心**損傷**割合を

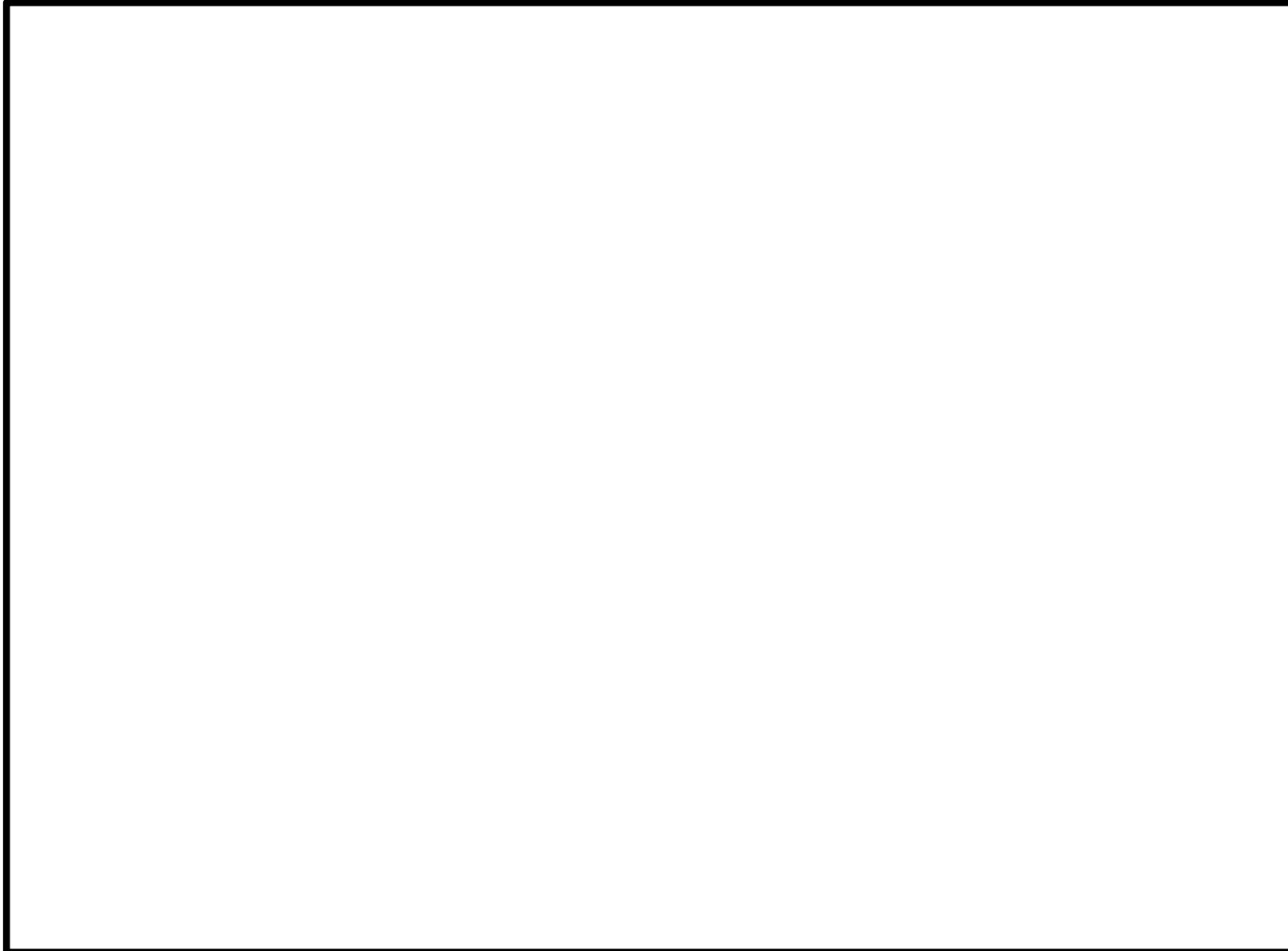
提示していたが、これは希ガスの放出総量から「程度のめやす」を示したものである。また、希ガス以外の核種は考慮しておらず、かつD/W・S/Cの分布によっても変わることから、不確かさが非常に大きいものである。

そのため、“炉心の燃料が何本損傷したか”を把握できるものではない。（損傷の定義もない）



この点を配慮せずに提示してしまっていたことの反省から、現在は炉心**損傷**割合の算出は行わない。

なお、燃料被覆管にピンホール等が発生することで希ガスが漏えいすることから、希ガス漏えい割合 \approx 燃料被覆管に何らかの損傷が発生した割合と考えると、本解析での割合は であった

- シナリオ及びMAAP解析結果（プラントパラメータ）は以下の通り



【詳細】 2021年3月12日のMAAP解析における入力情報 (2/2)

- ソースタームは前頁のプラントパラメータの経時変化を評価したMAAP解析結果として得られた放射性物質の経時変化から算出しているが、この評価においては以下のような情報を入力
 - RCICによる水位維持

 - LOCA

 - 同様にRHR S/PC運転/停止、代替注水開始、PCVスプレイ運転/停止、等
- 上記のような記述によって個々のイベント発生を表現し、事象進展に応じて各イベントを連ねたINPUTファイルを作成してMAAP解析を実施

● MAAP解析の入力ファイルは以下の通り

パラメータファイル

プラントの基本情報やプログラム内で使用する単語の定義等を規定する基本ファイル



...

INPUTファイル

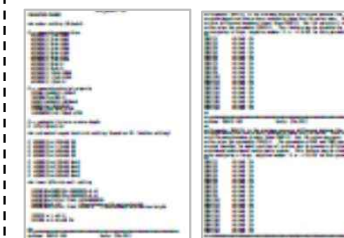
解析したいシナリオにおけるLOCA発生タイミングやポンプのON/OFF等のイベント情報を記述するファイル



...

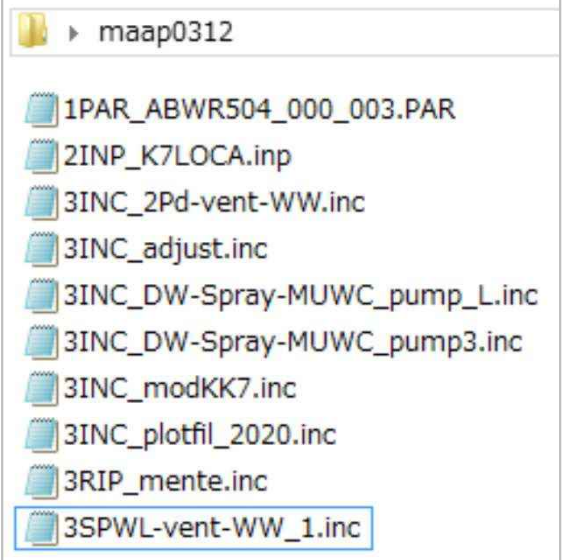
INCLUDEファイル

全ての条件をINPUTファイルに記述すれば必要ないが、情報量が膨大になって利便性が悪いことから、ポンプ特性等を別ファイルとして作成し、INPUTファイルから読み込むことで活用するファイル



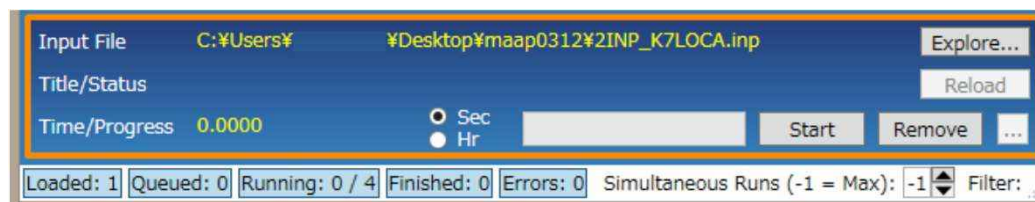
...

(ファイル構成例)



※入力を補助するユーザーインターフェースはMAAPには存在せず、前頁のようなプログラムを自ら作成する (=複雑な事象進展の入力は短期間では作成不可能)

MAAP



● 2021年3月12日のMAAP解析の入力ファイルの内容は以下の通り

パラメータファイル

- ・プログラム内で使用する単語の定義
 - ・解析で用いる定数のABWRプラントにおける値の設定
 - ・解析領域や領域間の接続情報の設定
 - ・出力させるパラメータの設定
 - ・照射時間
 - ・崩壊熱情報
 - ・使用するモデル情報
 - ・配管、機器、圧力容器、格納容器等の長さ、高さ、面積等の幾何的情報
 - ・弁の作動圧力やポンプ流量特性等の設備情報
 - ・構成機器の熱容量等の熱的情報
 - ・イベントの定義
- 等

(メモ帳ベースで700頁強の情報量)

INPUTファイル

- ・読み込むパラメータファイル、INCLUDEファイルの設定
- ・解析開始、終了時間の設定
- ・ECCS等の自動起動OFF
- ・RCICによる水位維持
- ・LOCA
- ・RHR S/PC運転/停止
- ・代替注水開始
- ・PCVスプレイ運転/停止
- ・PCVベント設定
- ・追加出力パラメータ設定

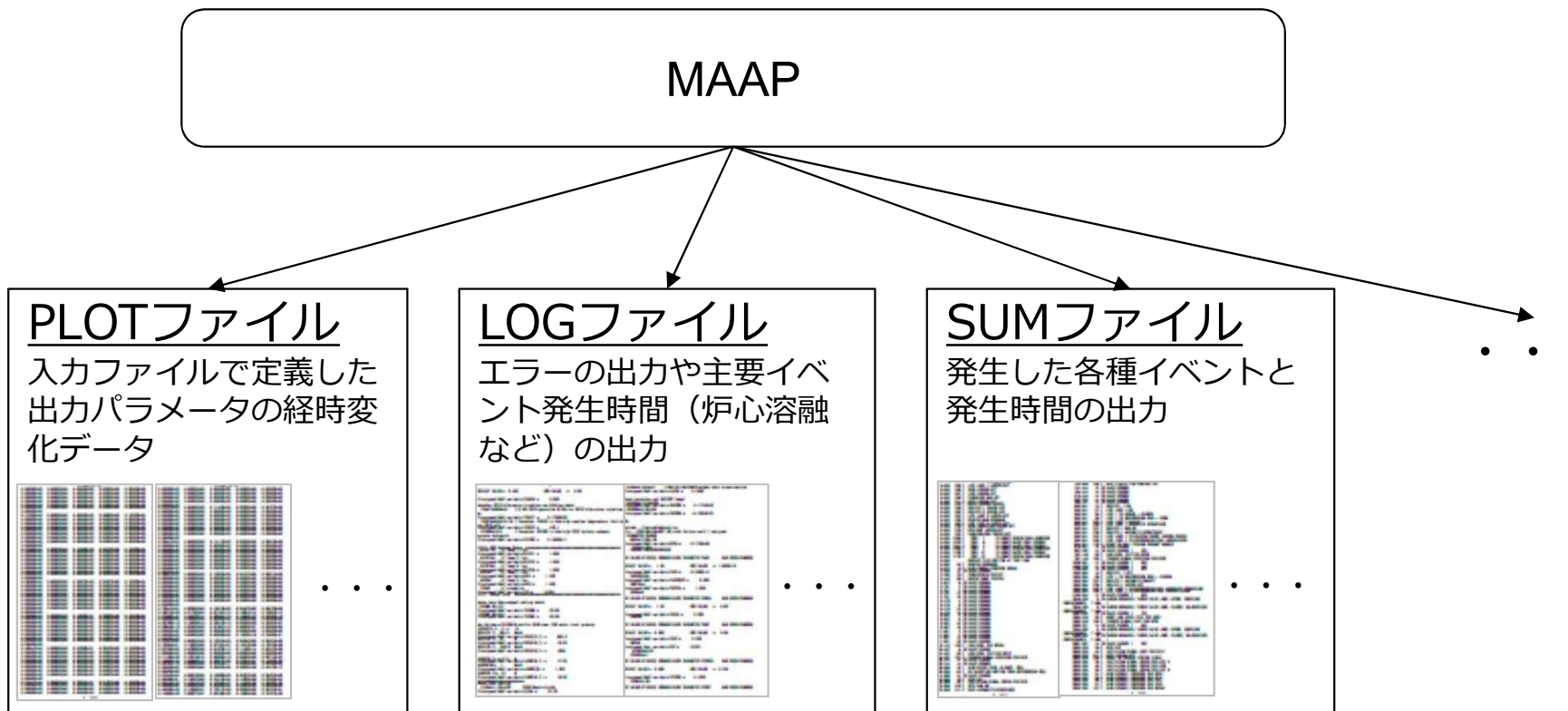
(事象進展を表現)

INCLUDEファイル

- ・代表ABWRプラントデータから柏崎刈羽7号炉データへの上書き
- ・PCVスプレイ流量特性（圧力-流量）、手動制御条件の設定
- ・ベント条件、ベント流路面積等の設定
- ・追加出力パラメータ設定

(事象進展を表現するために必要な情報の一部を別ファイルで設定)

- MAAP解析の出力ファイルは以下の通り



※出力も入力同様データの羅列であり、視覚的に理解できる状態とするためにはユーザーによる加工作業が必須

- 2021年3月12日のMAAP解析の出力ファイル（PLOTファイル）の内容は以下の通り

PLOTファイル

- | | | |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ・シュラウド内原子炉水位 ・シュラウド外原子炉水位 ・原子炉圧力 ・SRV気相流量 ・RCIC流量 ・HPCF流量 ・LOCA液相流量 ・LOCA気相流量 ・D/Wスプレイ流量 ・W/Wスプレイ流量 ・CSP水容量 ・炉心最高温度 ・炉心からの水素発生量 ・溶融炉心重量 | <ul style="list-style-type: none"> ・炉心部ノード平均温度 ・燃料ペレット温度 ・被覆管温度 ・チャンネルボックス温度 ・制御棒温度 ・ウォーターロッド温度 ・ノード炉心重量 ・RPV下部プレナムデブリ重量 ・RPV下部壁面温度 ・RPV下部壁面厚さ ・RPV内ヒートシンク温度 | <ul style="list-style-type: none"> ・上部D/W圧力 ・上部D/W気相温度 ・W/W圧力 ・W/W水位 ・W/W水温度 ・W/W気相温度 ・下部D/W圧力 ・下部D/W水位 ・下部コリウム重量 ・床面コンクリート侵食量 ・側面コンクリート侵食量 ・環境へのFP放出割合 |
|--|---|---|
- 等

- 「環境へのFP放出割合」のうち希ガス・ヨウ素・セシウムに着目し、これら核種の炉内内蔵量（ベント時までの時間減衰と親核種からの生成を考慮）を乗じ、0.5MeV換算等の合算を行うことでDIANA入力用のソースタームを作成

● 2021年3月12日のソースターム (2番目) 作成に用いた情報は以下の通り

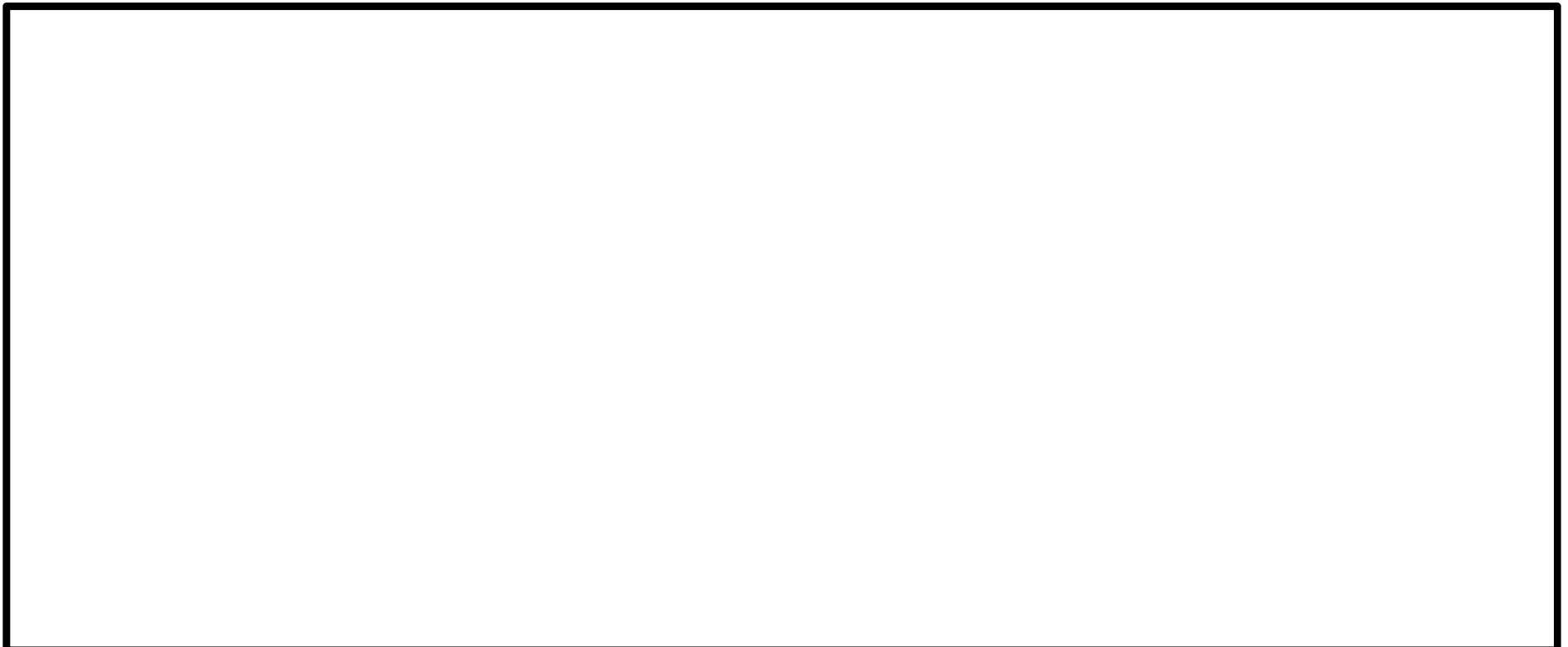
核種	当該核種の崩壊定数	γ線エネルギー MeV	甲状腺換算係数	沈着からの周辺線量率換算係数 (mSv/h) / (kBq/m ²)	原子炉停止直後の炉内内蔵量(Bq)	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)
	s ⁻¹				KK7	KK7
Kr-85	2.05E-09	0.0022	-	-	6.258E+16	6.26E+16
Kr-85m	4.30E-05	0.1590	-	-	1.414E+18	1.62E+16
Kr-87	1.51E-04	0.7930	-	-	2.054E+18	2.99E+11
Kr-88	6.88E-05	1.9500	-	-	2.856E+18	2.24E+15
Xe-131m	6.74E-07	0.0022	-	-	0.000E+00	4.27E+15
Xe-133	1.52E-06	0.0450	-	-	7.770E+18	1.11E+19
Xe-133m	3.57E-06	0.0420	-	-	0.000E+00	1.15E+17
Xe-135	2.12E-05	0.2500	-	-	2.241E+18	1.97E+18
Xe-135m	7.38E-04	0.4320	-	-	0.000E+00	2.49E+15
I-131	9.95E-07	0.3810	1.000E+00	1.300E-06	3.826E+18	3.45E+18
I-132	8.44E-05	2.2530	1.188E-02	7.800E-06	5.602E+18	1.30E+17
I-133	9.26E-06	0.6080	2.500E-01	2.100E-06	7.958E+18	3.04E+18
I-134	2.20E-04	2.7500	2.281E-03	8.900E-06	8.841E+18	1.07E+09
I-135	2.91E-05	1.6450	5.000E-02	5.400E-06	7.550E+18	3.65E+17
Cs-134	1.07E-08	1.5550	-	5.400E-06	6.384E+17	6.38E+17
Cs-136	6.12E-07	2.1650	-	7.400E-06	1.771E+17	1.66E+17
Cs-137	7.33E-10	0.5970	-	2.100E-06	5.190E+17	5.19E+17

DF
S/P :
粒子状ヨウ素 10
無機ヨウ素 10
FV :
粒子状ヨウ素 1000
無機ヨウ素 1000
有機ヨウ素 50
セシウム 1000

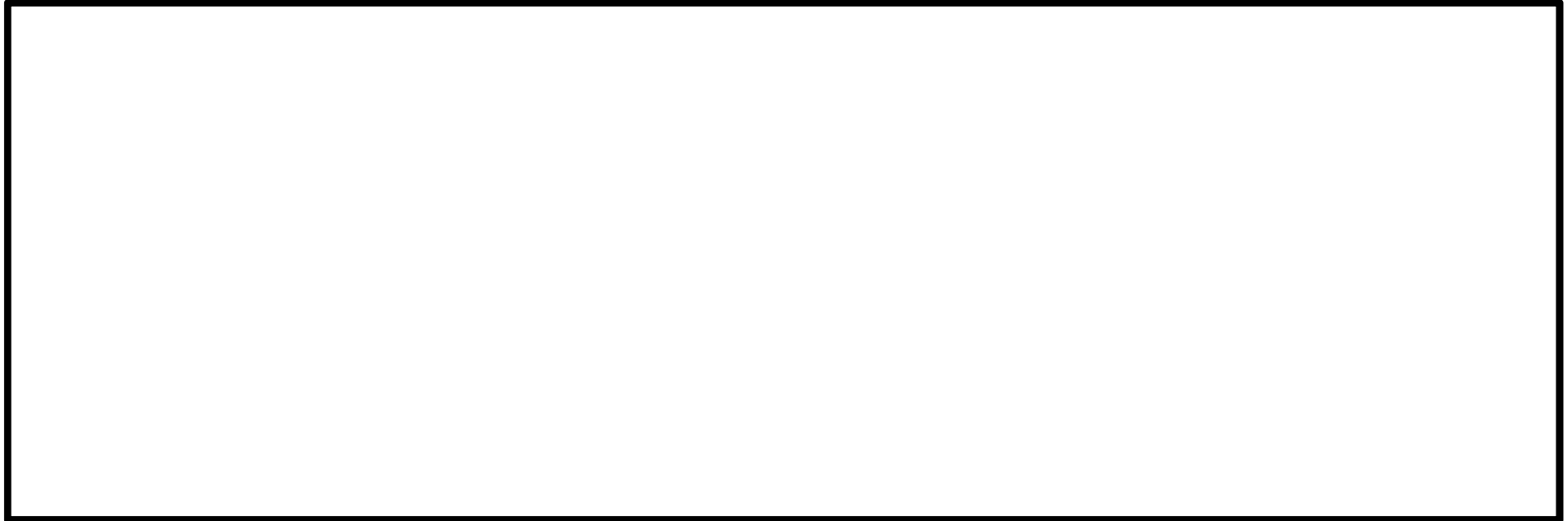
※甲状腺換算係数は原安委「発電用軽水型原子炉の安全評価に関する審査指針」、沈着からの周辺線量率換算係数はIAEA-TECDOC-1162の値

- なお、MAAP内では希ガス (Kr、Xe)、ヨウ素 (I)、セシウム (Cs) の他にルビジウム (Rb)、テルル (Te)、ストロンチウム (Sr)、モリブデン (Mo)、バリウム (Ba)、ランタン (La)、セリウム (Ce)、アンチモン (Sb) といった核種の挙動も評価しているが、環境への影響度から希ガス、ヨウ素、セシウムを選定してDIANA入力用のソースタームを作成

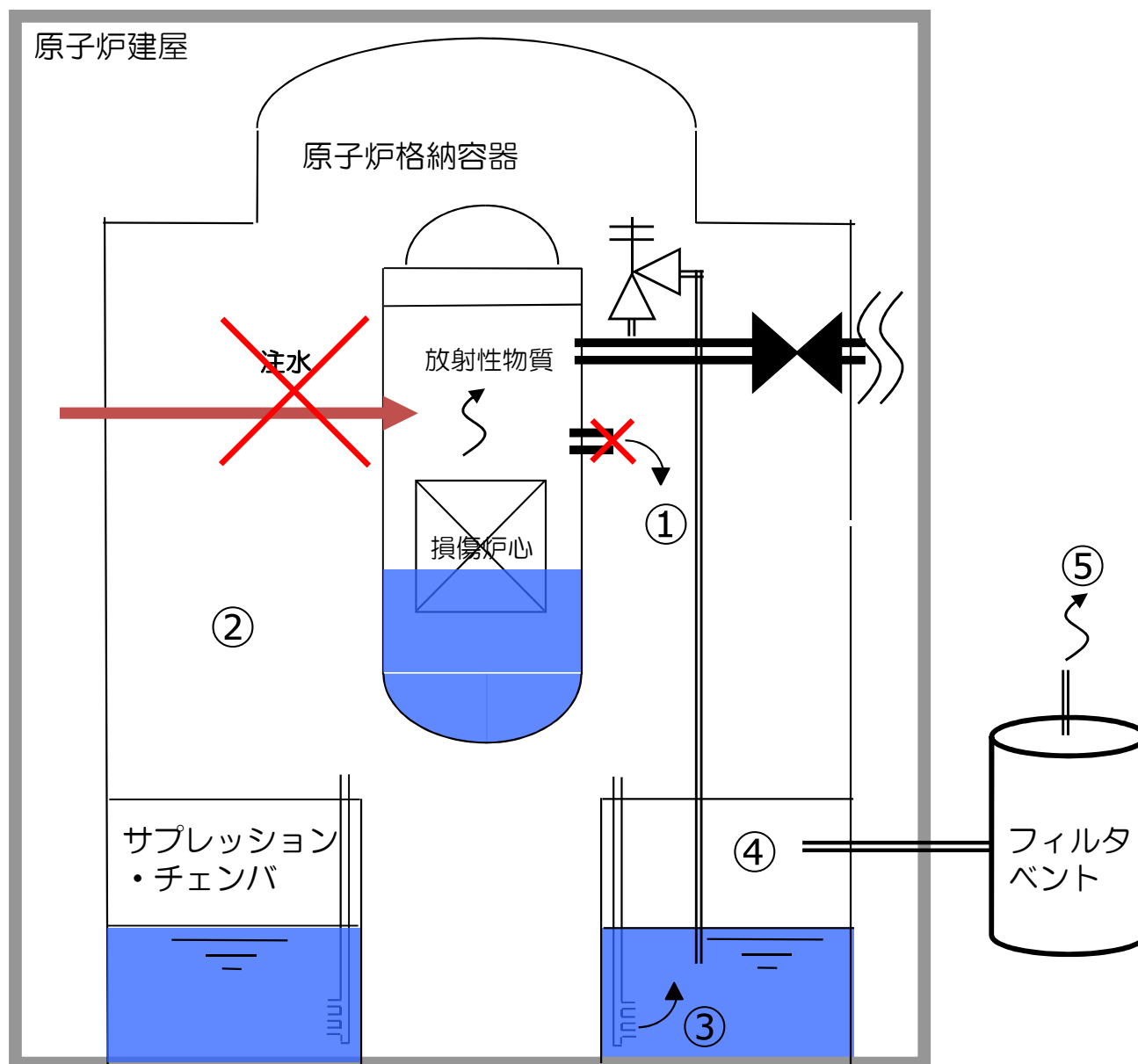
- 希ガス、ヨウ素、セシウムは以下の理由から代表核種として選定
 - ・ 希ガス：スクラビング効果やフィルタベントでは除去できず、短期外部被ばくの主要な要因となるため（安全評価審査指針でも評価対象核種として選定）
 - ・ ヨウ素：体内に取り込んだ場合に甲状腺に蓄積し、内部被ばく影響を考慮するうえで重要な核種であるため（安全評価審査指針でも評価対象核種として選定）
 - ・ セシウム：土壌沈着での長期影響を考慮するうえで重要な核種であるため（福島第一原子力発電所事故後の調査等においても土壌沈着影響の主要な核種として確認）
- MAAP出力（環境へのFP放出割合）からDIANA入力用ソースタームへの変換は以下の通り実施



- MAAP出力（環境へのFP放出割合）からDIANA入力用ソースタームへの変換は以下の通り実施（続き）

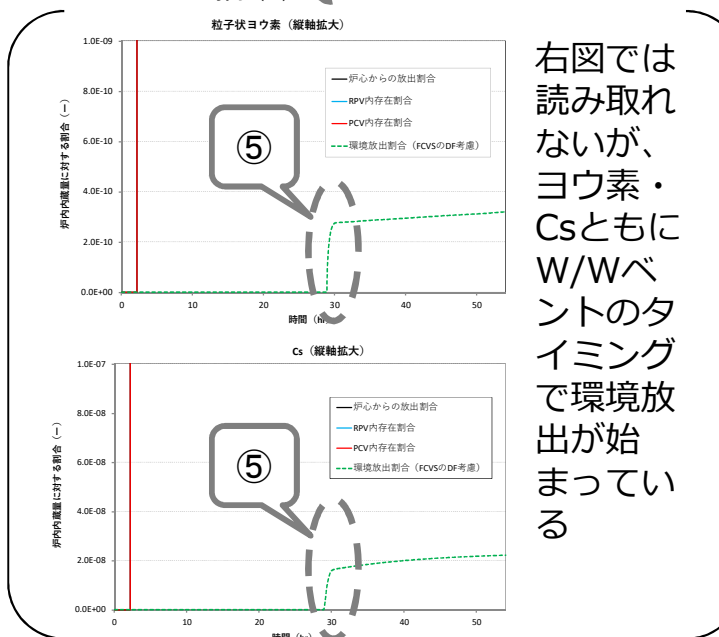
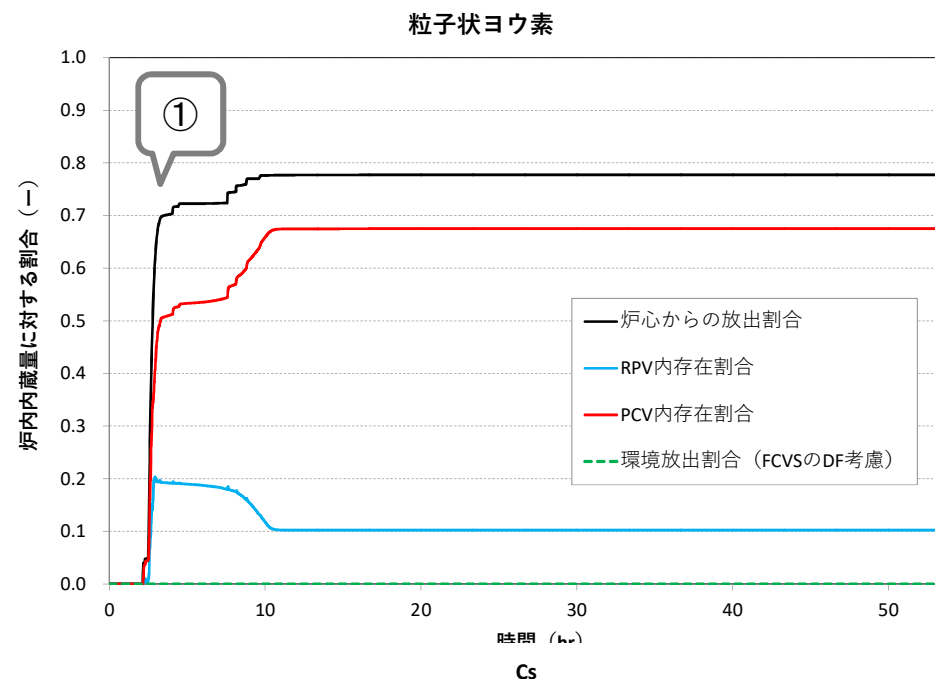
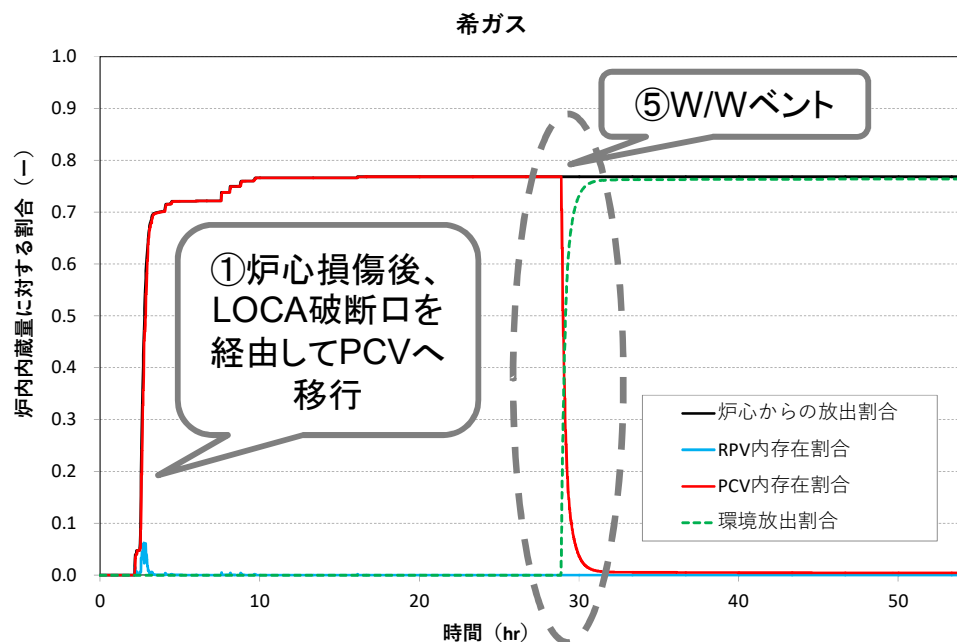


各放出量[Bq]は当該時刻までの積算値となっているため、ベント後1時間/6時間/12時間/18時間/24時間までの各積算値から差分を計算し、各時間帯での合計放出量[Bq]を評価

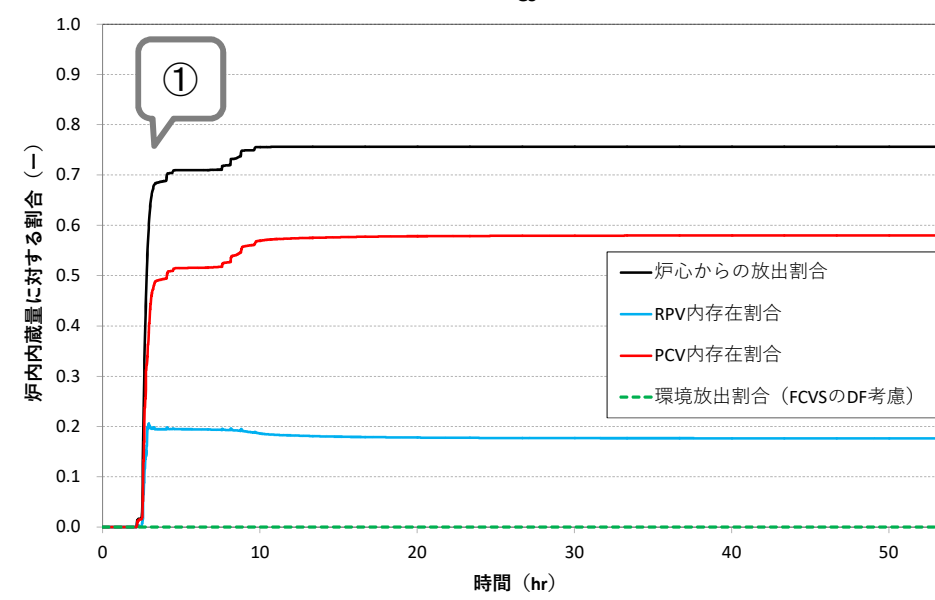


- 損傷炉心から放出された放射性物質は
 - ① LOCA破断口を経由してPCVへ移行
 - ② PCV内で浮遊・沈着
 - ③ PCVスプレイも相まってベント管を通じてS/C移行
 - ④ S/Pスクラビングで一部除去されてS/C気相部へ移行
 - ⑤ W/WベントでFVを通過して放出
 という経路をとる。
- 上記挙動を表す放射性物質の炉内内蔵量に対する割合の経時変化を次頁以降に示す。

【詳細】 2021年3月12日のMAAP解析におけるFP挙動 (2/7)



右図では読み取れないが、ヨウ素・CsともにW/Wベントのタイミングで環境放出が始まっている



【詳細】 2021年3月12日のMAAP解析におけるFP挙動 (3/7)

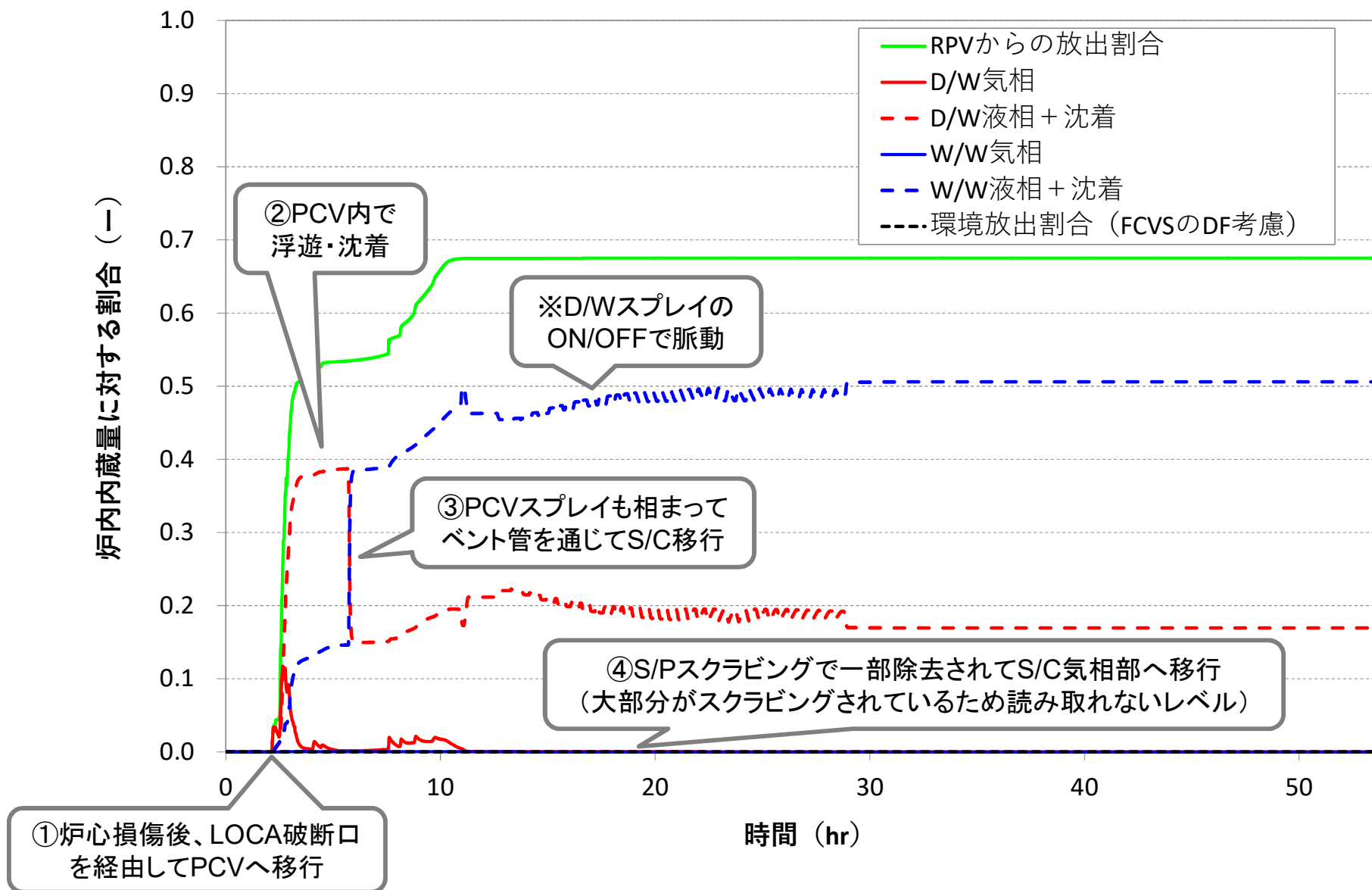
ベント直前の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	炉心からの放出割合		RPV内存在割合		PCV内存在割合		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
Kr-85	6.3E+16	77%	4.8E+16	0%	3.8E+09	77%	4.8E+16	0%	0.0E+00
Kr-85m	1.6E+16	77%	1.2E+16	0%	9.8E+08	77%	1.2E+16	0%	0.0E+00
Kr-87	3.0E+11	77%	2.3E+11	0%	1.8E+04	77%	2.3E+11	0%	0.0E+00
Kr-88	2.2E+15	77%	1.7E+15	0%	1.4E+08	77%	1.7E+15	0%	0.0E+00
Xe-131m	4.3E+15	77%	3.3E+15	0%	2.6E+08	77%	3.3E+15	0%	0.0E+00
Xe-133	1.1E+19	77%	8.5E+18	0%	6.7E+11	77%	8.5E+18	0%	0.0E+00
Xe-133m	1.2E+17	77%	8.8E+16	0%	7.0E+09	77%	8.8E+16	0%	0.0E+00
Xe-135	2.0E+18	77%	1.5E+18	0%	1.2E+11	77%	1.5E+18	0%	0.0E+00
Xe-135m	2.5E+15	77%	1.9E+15	0%	1.5E+08	77%	1.9E+15	0%	0.0E+00
I-131	3.4E+18	78%	2.7E+18	10%	3.5E+17	68%	2.3E+18	0%	0.0E+00
I-132	1.3E+17	78%	1.0E+17	10%	1.3E+16	68%	8.8E+16	0%	0.0E+00
I-133	3.0E+18	78%	2.4E+18	10%	3.1E+17	68%	2.1E+18	0%	0.0E+00
I-134	1.1E+09	78%	8.3E+08	10%	1.1E+08	68%	7.2E+08	0%	0.0E+00
I-135	3.7E+17	78%	2.8E+17	10%	3.7E+16	68%	2.5E+17	0%	0.0E+00
Cs-134	6.4E+17	76%	4.8E+17	18%	1.1E+17	58%	3.7E+17	0%	0.0E+00
Cs-136	1.7E+17	76%	1.3E+17	18%	2.9E+16	58%	9.6E+16	0%	0.0E+00
Cs-137	5.2E+17	76%	3.9E+17	18%	9.2E+16	58%	3.0E+17	0%	0.0E+00

ベント後24時間経過時点の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	炉心からの放出割合		RPV内存在割合		PCV内存在割合		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
Kr-85	6.3E+16	77%	4.8E+16	0.00000028%	1.8E+08	0.41%	2.6E+14	76%	4.8E+16
Kr-85m	1.6E+16	77%	1.2E+16	0.00000028%	4.6E+07	0.41%	6.7E+13	76%	1.2E+16
Kr-87	3.0E+11	77%	2.3E+11	0.00000028%	8.5E+02	0.41%	1.2E+09	76%	2.3E+11
Kr-88	2.2E+15	77%	1.7E+15	0.00000028%	6.4E+06	0.41%	9.2E+12	76%	1.7E+15
Xe-131m	4.3E+15	77%	3.3E+15	0.00000028%	1.2E+07	0.41%	1.8E+13	76%	3.3E+15
Xe-133	1.1E+19	77%	8.5E+18	0.00000028%	3.2E+10	0.41%	4.6E+16	76%	8.5E+18
Xe-133m	1.2E+17	77%	8.8E+16	0.00000028%	3.3E+08	0.41%	4.7E+14	76%	8.8E+16
Xe-135	2.0E+18	77%	1.5E+18	0.00000028%	5.6E+09	0.41%	8.1E+15	76%	1.5E+18
Xe-135m	2.5E+15	77%	1.9E+15	0.00000028%	7.1E+06	0.41%	1.0E+13	76%	1.9E+15
I-131	3.4E+18	78%	2.7E+18	10%	3.5E+17	68%	2.3E+18	0.00000032%	1.1E+09
I-132	1.3E+17	78%	1.0E+17	10%	1.3E+16	68%	8.8E+16	0.00000032%	4.1E+07
I-133	3.0E+18	78%	2.4E+18	10%	3.1E+17	68%	2.1E+18	0.00000032%	9.6E+08
I-134	1.1E+09	78%	8.3E+08	10%	1.1E+08	68%	7.2E+08	0.00000032%	3.4E-01
I-135	3.7E+17	78%	2.8E+17	10%	3.7E+16	68%	2.5E+17	0.00000032%	1.2E+08
Cs-134	6.4E+17	76%	4.8E+17	18%	1.1E+17	58%	3.7E+17	0.0000022%	1.4E+10
Cs-136	1.7E+17	76%	1.3E+17	18%	2.9E+16	58%	9.6E+16	0.0000022%	3.7E+09
Cs-137	5.2E+17	76%	3.9E+17	18%	9.1E+16	58%	3.0E+17	0.0000022%	1.1E+10

格納容器内粒子状ヨウ素分布

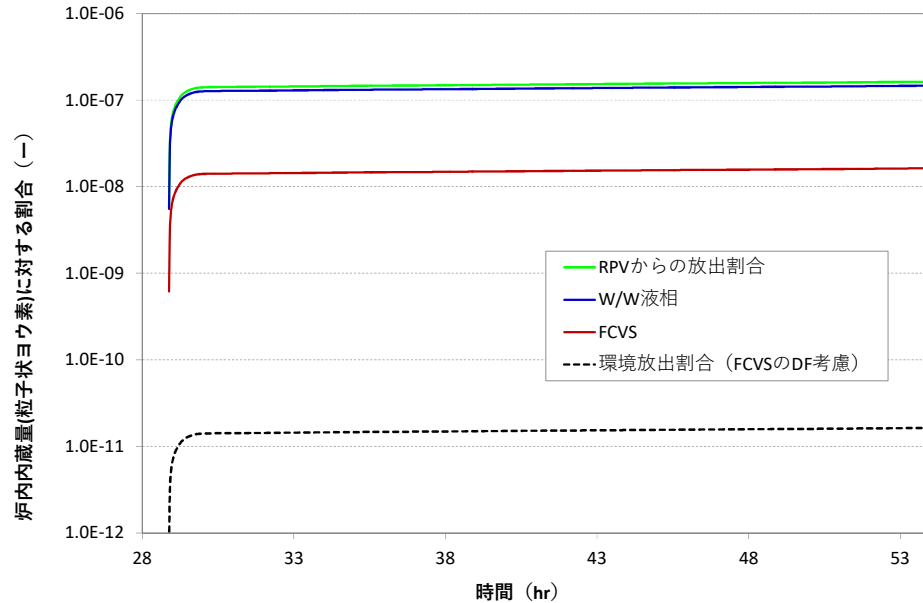


【詳細】 2021年3月12日のMAAP解析におけるFP挙動 (5/7)

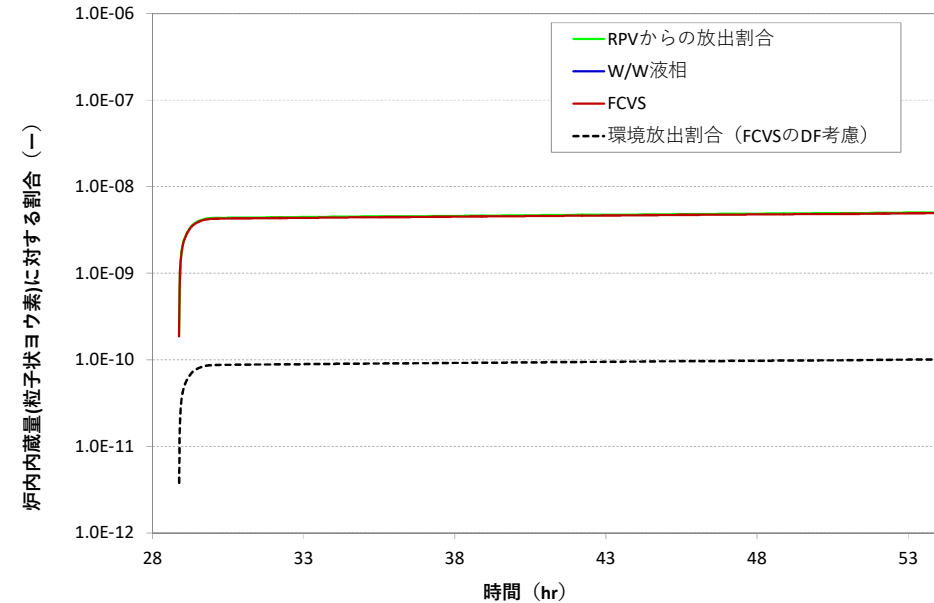


(参考) 無機ヨウ素・有機ヨウ素は []
 ベント時点からのグラフとなるが以下の通り

無機ヨウ素分布



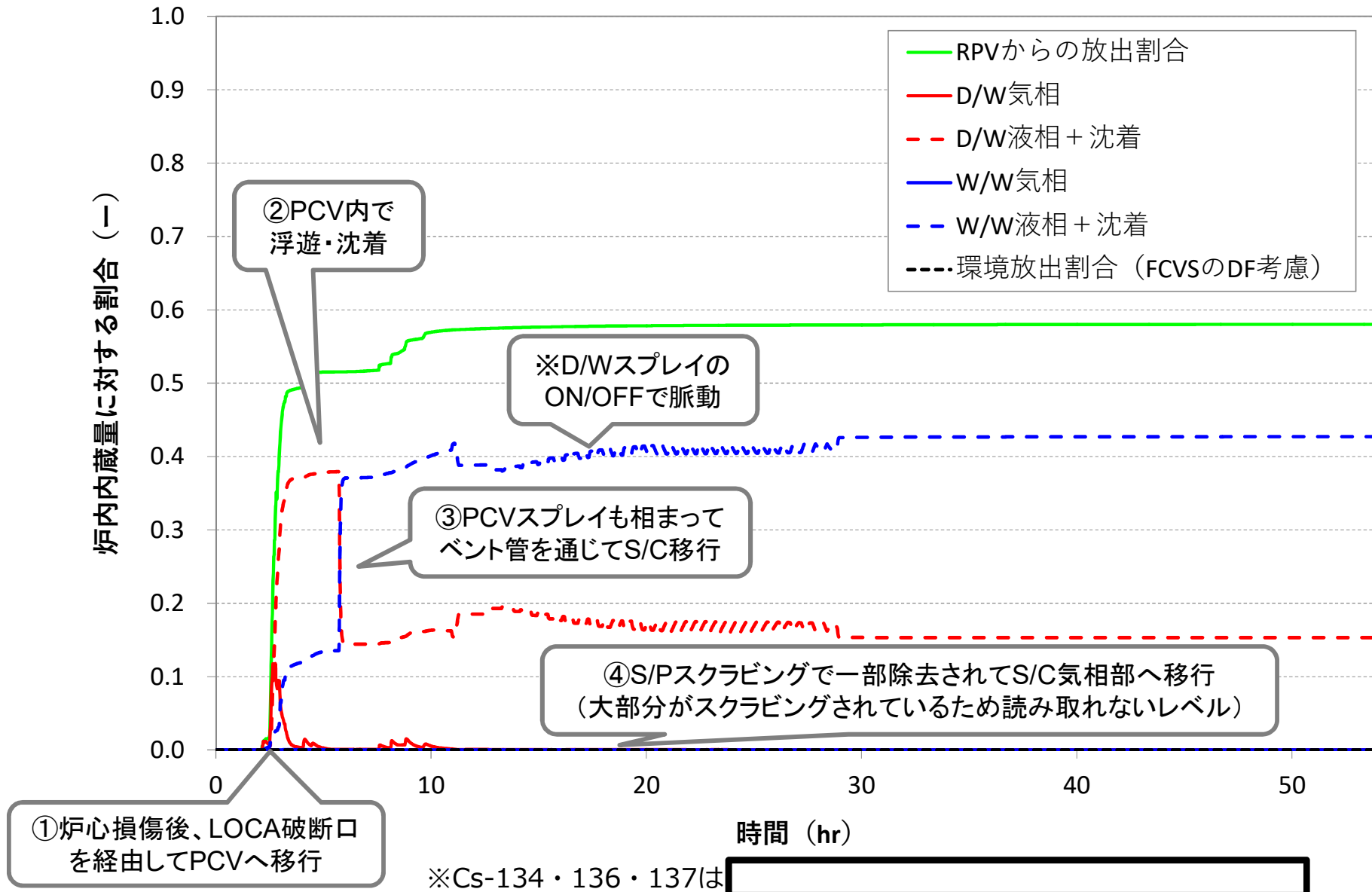
有機ヨウ素分布



ベント後24時間経過時点の各Bq値

核種	ベントまでの時間減衰と親核種からの生成を考慮した粒子状ヨウ素炉内内蔵量(Bq)	RPVからの放出割合		W/W液相		FCVS(入口)		環境放出割合(FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
I-131無機	3.4E+18	0.000016%	5.6E+11	0.000015%	5.0E+11	0.0000016%	5.6E+10	0.000000016%	5.6E+07
		0.0000050%	1.7E+10	0%	0.0E+00	0.0000049%	1.7E+10	0.00000010%	3.5E+08
I-132無機	1.3E+17	0.000016%	2.1E+10	0.000015%	1.9E+10	0.0000016%	2.1E+09	0.000000016%	2.1E+06
		0.0000050%	6.5E+08	0%	0.0E+00	0.0000049%	6.4E+08	0.00000010%	1.3E+07
I-133無機	3.0E+18	0.000016%	4.9E+11	0.000015%	4.4E+11	0.0000016%	4.9E+10	0.000000016%	4.9E+07
		0.0000050%	1.5E+10	0%	0.0E+00	0.0000049%	1.5E+10	0.00000010%	3.0E+08
I-134無機	1.1E+09	0.000016%	1.7E+02	0.000015%	1.6E+02	0.0000016%	1.7E+01	0.000000016%	1.7E-02
		0.0000050%	5.4E+00	0%	0.0E+00	0.0000049%	5.2E+00	0.00000010%	1.1E-01
I-135無機	3.7E+17	0.000016%	5.9E+10	0.000015%	5.3E+10	0.0000016%	5.9E+09	0.000000016%	5.9E+06
		0.0000050%	1.8E+09	0%	0.0E+00	0.0000049%	1.8E+09	0.00000010%	3.7E+07

格納容器内Cs分布



【詳細】 2021年3月12日のMAAP解析におけるFP挙動 (7/7)

PCVスプレイ前後のBq値

PCVスプレイ直前の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	RPVからの放出割合		D/W気相		D/W液相+沈着		W/W気相		W/W液相+沈着		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
I-131	3.4E+18	53%	1.8E+18	0.12%	4.0E+15	39%	1.3E+18	0.018%	6.3E+14	15%	5.1E+17	0%	0.0E+00
I-132	1.3E+17	53%	7.0E+16	0.12%	1.5E+14	39%	5.0E+16	0.018%	2.4E+13	15%	1.9E+16	0%	0.0E+00
I-133	3.0E+18	53%	1.6E+18	0.12%	3.5E+15	39%	1.2E+18	0.018%	5.6E+14	15%	4.5E+17	0%	0.0E+00
I-134	1.1E+09	53%	5.7E+08	0.12%	1.2E+06	39%	4.1E+08	0.018%	2.0E+05	15%	1.6E+08	0%	0.0E+00
I-135	3.7E+17	53%	2.0E+17	0.12%	4.2E+14	39%	1.4E+17	0.018%	6.7E+13	15%	5.4E+16	0%	0.0E+00
Cs-134	6.4E+17	52%	3.3E+17	0.061%	3.9E+14	38%	2.4E+17	0.018%	1.2E+14	14%	8.6E+16	0%	0.0E+00
Cs-136	1.7E+17	52%	8.6E+16	0.061%	1.0E+14	38%	6.3E+16	0.018%	3.0E+13	14%	2.3E+16	0%	0.0E+00
Cs-137	5.2E+17	52%	2.7E+17	0.061%	3.2E+14	38%	2.0E+17	0.018%	9.5E+13	14%	7.0E+16	0%	0.0E+00

PCVスプレイ後1時間経過時点の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	RPVからの放出割合		D/W気相		D/W液相+沈着		W/W気相		W/W液相+沈着		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
I-131	3.4E+18	54%	1.9E+18	0.19%	6.7E+15	15%	5.2E+17	0.013%	4.6E+14	39%	1.3E+18	0%	0.0E+00
I-132	1.3E+17	54%	7.0E+16	0.19%	2.5E+14	15%	2.0E+16	0.013%	1.8E+13	39%	5.0E+16	0%	0.0E+00
I-133	3.0E+18	54%	1.6E+18	0.19%	5.9E+15	15%	4.6E+17	0.013%	4.1E+14	39%	1.2E+18	0%	0.0E+00
I-134	1.1E+09	54%	5.7E+08	0.19%	2.1E+06	15%	1.6E+08	0.013%	1.4E+05	39%	4.1E+08	0%	0.0E+00
I-135	3.7E+17	54%	2.0E+17	0.19%	7.1E+14	15%	5.5E+16	0.013%	4.9E+13	39%	1.4E+17	0%	0.0E+00
Cs-134	6.4E+17	52%	3.3E+17	0.060%	3.9E+14	14%	9.2E+16	0.013%	8.6E+13	37%	2.4E+17	0%	0.0E+00
Cs-136	1.7E+17	52%	8.6E+16	0.060%	1.0E+14	14%	2.4E+16	0.013%	2.2E+13	37%	6.2E+16	0%	0.0E+00
Cs-137	5.2E+17	52%	2.7E+17	0.060%	3.1E+14	14%	7.5E+16	0.013%	7.0E+13	37%	1.9E+17	0%	0.0E+00

ベント前後のBq値

ベント直前の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	RPVからの放出割合		D/W気相		D/W液相+沈着		W/W気相		W/W液相+沈着		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
I-131	3.4E+18	68%	2.3E+18	0.00028%	9.8E+12	18%	6.4E+17	0.000019%	6.6E+11	49%	1.7E+18	0%	0.0E+00
I-132	1.3E+17	68%	8.8E+16	0.00028%	3.7E+11	18%	2.4E+16	0.000019%	2.5E+10	49%	6.4E+16	0%	0.0E+00
I-133	3.0E+18	68%	2.1E+18	0.00028%	8.6E+12	18%	5.6E+17	0.000019%	5.8E+11	49%	1.5E+18	0%	0.0E+00
I-134	1.1E+09	68%	7.2E+08	0.00028%	3.0E+03	18%	2.0E+08	0.000019%	2.1E+02	49%	5.2E+08	0%	0.0E+00
I-135	3.7E+17	68%	2.5E+17	0.00028%	1.0E+12	18%	6.7E+16	0.000019%	7.0E+10	49%	1.8E+17	0%	0.0E+00
Cs-134	6.4E+17	58%	3.7E+17	0.015%	9.8E+13	17%	1.1E+17	0.000019%	1.2E+11	41%	2.6E+17	0%	0.0E+00
Cs-136	1.7E+17	58%	9.6E+16	0.015%	2.6E+13	17%	2.8E+16	0.000019%	3.2E+10	41%	6.9E+16	0%	0.0E+00
Cs-137	5.2E+17	58%	3.0E+17	0.015%	8.0E+13	17%	8.6E+16	0.000019%	1.0E+11	41%	2.1E+17	0%	0.0E+00

ベント後24時間経過時点の各Bq値(ヨウ素は粒子状ヨウ素)

核種	ベントタイミング [] までの時間減衰と親核種からの生成を考慮した炉内内蔵量(Bq)	RPVからの放出割合		D/W気相		D/W液相+沈着		W/W気相		W/W液相+沈着		環境放出割合 (FCVSのDF考慮)	
		(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)	(割合)	(Bq)
I-131	3.4E+18	68%	2.3E+18	0.000018%	6.4E+11	17%	5.8E+17	0.000000019%	6.7E+08	51%	1.7E+18	0.000000032%	1.1E+09
I-132	1.3E+17	68%	8.8E+16	0.000018%	2.4E+10	17%	2.2E+16	0.000000019%	2.5E+07	51%	6.6E+16	0.000000032%	4.1E+07
I-133	3.0E+18	68%	2.1E+18	0.000018%	5.6E+11	17%	5.1E+17	0.000000019%	5.9E+08	51%	1.5E+18	0.000000032%	9.6E+08
I-134	1.1E+09	68%	7.2E+08	0.000018%	2.0E+02	17%	1.8E+08	0.000000019%	2.1E-01	51%	5.4E+08	0.000000032%	3.4E-01
I-135	3.7E+17	68%	2.5E+17	0.000018%	6.7E+10	17%	6.2E+16	0.000000019%	7.0E+07	51%	1.8E+17	0.000000032%	1.2E+08
Cs-134	6.4E+17	58%	3.7E+17	0.00048%	3.1E+12	15%	9.8E+16	0.00000051%	3.2E+09	43%	2.7E+17	0.0000022%	1.4E+10
Cs-136	1.7E+17	58%	9.6E+16	0.00048%	8.0E+11	15%	2.5E+16	0.00000051%	8.4E+08	43%	7.1E+16	0.0000022%	3.7E+09
Cs-137	5.2E+17	58%	3.0E+17	0.00048%	2.5E+12	15%	7.9E+16	0.00000051%	2.6E+09	43%	2.2E+17	0.0000022%	1.1E+10

（福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記（一部省略））

1. MAAP コードの特徴

MAAP コードは、米国電力研究所（EPRI）が所有するシビアアクシデント解析コードであり、軽水炉の炉心損傷、原子炉圧力容器（RPV）破損、原子炉格納容器（PCV）破損からコア・コンクリート反応、放射性物質の発生・移行・放出に至る事故シーケンス全般の現象解析に用いることができる。コードシステムとしては、各事故過程のプロセスを個別に評価するモジュールを統合することで、一連の事故シーケンスを評価する構成となっている。また、実プラントに即した工学的安全施設や制御系がモデル化されているため、運転員操作を含むシステムイベントを扱うことができ、事故進展過程において炉心が冷却可能な状態で終息するか、あるいはPCV が破壊し核分裂生成物（FP）が放出されるまでのシビアアクシデント解析を行うことができる。

MAAP コードは簡略化した形状や相関式等を使用する解析モデルに基づく“一点集中定数型近似モデル”に分類されるコードである。コード内では解析対象とする領域を“ボリューム”と呼ばれる体積要素に分割し、それらを“ジャンクション”と呼ばれる接合部で結合することで、質量及びエネルギー保存則に基づき領域内の1次元熱流動を評価する。炉心部では、崩壊熱及び化学反応による発熱と冷却材及び構造材への熱伝達のバランスから燃料温度を評価し、それに基づき燃料挙動（燃料損傷・溶融・移動）を評価する。下部プレナムにデブリが移行した後は、RPV 破損評価を行い、それに基づきPCV への溶融燃料移行を判定する。PCV ではデブリによるコンクリート構造材の侵食及び化学反応等の物理化学現象を扱う。

表1 にMAAP コードのモデル概要を、表2 に解析モデル設定の概要をまとめる。また、RPV 内の評価モデル概要を図1 に、PCV 内の評価モデル概要を図2に、RPV 内下部プレナムにおける評価モデルの概要を図3 に示す。

2. 主な解析モデル

○ 原子炉施設解析モデル

RPV 内については、RPV 上部ヘッド、炉心上部構造物、炉心、下部プレナム、ダウンカム、及び再循環ループ等に分割される。また、PCV 内については、ペDESTAL、ドライウェル、ベント管及びウェットウェルに加え、PCV外への気相放出を考慮するために環境を模擬するボリュームを設定する。各ボリューム間には気液流動を扱うためのジャンクションを設定し、RPV 上部ヘッドとウェットウェル間には逃がし安全弁（SRV）を、ドライウェルとウェットウェル間には真空破壊弁を、またPCV から環境へのリークを模擬したジャンクションを設定する。RPV 内の主要構造物（シュラウド、炉心支持板、RPV 壁面、炉心上部構造物等）は、ヒートシンクとして設定する。RPV 内、及びPCV 内の水位は、水位体積テーブルを設定することで評価する。

（福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記（一部省略））

○ 炉心部燃料挙動モデル

炉心部とは炉心支持板～燃料上部格子板を指し、燃料のヒートアップ及び燃料溶融挙動を取り扱うために、軸方向、及び径方向のノード分割を行う。炉心部解析モデルでは被覆管過熱に伴う水-金属反応による発熱及び水素ガス発生を扱い、燃料温度上昇、破損、溶融に伴うキャンドリング、リロケーションを評価する。燃料形状については、溶融状況に応じて4つのタイプ（健全燃料～流路閉塞状態）を考慮し、冷却状況によりクラスト形成、炉心横方向へのデブリ移行、溶融プール形成を扱う。なお、炉心支持板部のノードが溶融温度に達した時点で、デブリの下部プレナム領域への移行を判定する。

○ 下部プレナムデブリ冷却モデル

下部プレナムに移行したデブリについては、冷却状況により溶融デブリプール、クラスト、溶融金属層、粒子状デブリの形態を区別する。下部プレナムでは、デブリから冷却材及び構造材への熱伝達を評価するとともに、各種破損モード評価に基づくRPV 破損判定を行う。RPV 破損後は、デブリ及び冷却材のPCV下部への移行を評価する。

○ 格納容器内における物理化学現象評価モデル（コア・コンクリート反応モデル）

MAAP ではPCV 内での様々な物理化学現象を取り扱うことができるが、PCV下部（ペDESTAL）に落下したデブリについては、コンクリート、冷却材への熱伝達、構造材への輻射等を評価し、冷却状態によりコア・コンクリート反応を扱う。コア・コンクリート反応では、1次元の熱伝達モデルによりコンクリート侵食を扱い、それに伴うガス、FP エアロゾルの放出を評価する。

○ その他プラントモデル

高圧注水系、原子炉隔離時冷却系、及び消火系注水についてはMAAP コードにモデル化されたものを使用し、作動条件、注水特性及び水源については、機器仕様書、運転操作記録及び計測データを基に設定する。

【参考】MAAPコード概要（3/9）



（福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記（一部省略））

表1 MAAPコードの概要

項目	MAAPモデル	図1～3の番号との対応
体系のモデル化	ボリウム・ジャンクションでモデル化、炉心ノード分割（軸方向：13ノード/径方向：5リング）	
熱流動モデル	均質流モデル、ドリフトフラックスモデル、自然循環、蒸発/凝縮、フラッシング、臨界流モデル、気液対向流等	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲
伝熱モデル	崩壊熱、燃料棒熱伝導、ヒートスラブ熱伝導、デブリ熱伝導、冷却材熱伝達、燃料-構造物間の熱輻射、溶融デブリ内の自然対流熱伝達、粒子状デブリからの熱伝達、圧力容器外冷却、圧力容器外熱損失、デブリ-RPV壁面間ギャップ冷却等	③④⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲ ⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗ ㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟ ㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸
炉心部燃料モデル	燃料ヒートアップ、水-金属反応（発熱、水素発生）、燃焼損傷、キャンドリング、リロケーション、炉心支持板破損等	①⑨⑰⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴
下部プレナムデブリモデル	層状堆積（粒子状デブリ、金属層、溶融プール、クラスト）、RPV破損（クリープ破損、デブリジェットアタック、金属層アタック、RPV貫通配管溶融、壁面侵食）、溶融デブリ-冷却材相互作用（デブリエントレインメント）、水-金属反応（発熱、水素発生）等	⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲ ㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴
格納容器モデル	溶融炉心高圧飛散、ガス移行、水素爆発、冷却材プール Ph 履歴、FPエアロゾル挙動（蒸発、凝集、沈着、拡散、熱泳動、沈降、フィルタ、プールスクラビング他）等	㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴
コア・コンクリート反応モデル	クラスト成長/消滅、コア・コンクリート反応（コンクリート侵食、ガス、FPエアロゾル放出）等	㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴
プラントモデル	炉内コンポーネント、制御系、主蒸気系、給水系、注水設備（IC、RCIC、HPCI、LPCI、CS、消火系注水他）、弁（SRV、MSIV、真空破壊弁、ラプチャディスク）、PCVベント、水源（CST、S/P、FP）、格納容器クーラ、RHR、SCS、リコンバイナ、イグナイタ等	②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲ ㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴ ㊵㊶㊷㊸
その他	核分裂生成物崩壊（RPV内/PCV内）、LOCA時破断モデル	⑧⑬⑱㉑

表2 MAAPコード解析モデル設定の概要

項目	解析モデル設定等
金属-水反応	Zr酸化：CathcartモデルもしくはBaker-Justモデル SUS酸化：White's parabolic equationモデルもしくはANLモデル
被覆管破損判定	破損判定温度：1000 [K]
燃料溶融	溶融物落下条件：炉心構成物質の各融点あるいは混合物質の平均溶融温度 共晶反応モデル：UO ₂ -Zr(O), SUS-Zr, B ₄ C-Steel, B ₄ C-Steel-Zr 溶融温度： ・ 被覆管（ジルカロイ）：2125 [K] ・ 二酸化ウラン：3113 [K] ・ SUS構造物：1700 [K] ・ 制御材（B4C）：2700 [K]
炉心支持版破損	破損温度：1650 [K] 破損口サイズ：0.01 [m ² /径方向リング] [(Ring 毎→5Ring 全部破損すると 0.05 [m ²)]
下部プレナム	落下溶融物の粒子化：Ricou-Spalding 相関式を適用したジェットブレークアップモデル 粒子状堆積デブリ冷却：ドライアウト熱流束に関するHenryの相関式 デブリ-RPVギャップ冷却：CHFギャップ沸騰モデル クリープ破損判定：Larson-Millerパラメータ CRDチューブ脱落判定：メカニスティックモデル 破損口サイズ（CRDチューブ脱落）：半径 7.6 [cm] 破損口サイズ（計装配管逸出）：半径 2.5 [cm]
コア・コンクリート反応	デブリ-溶融コンクリート混合：考慮する コンクリート溶融温度：1500[K] デブリ溶融プールクラスト間の熱伝達係数：対流熱伝達率（下方向/横方向） 堆積デブリ上の冷却材への熱流束：Kutateladzeの限界熱流束相関式 コンクリートの種類：玄武岩系コンクリート
崩壊熱	ANSI/ANS5.1-1979モデル

(福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記 (一部省略))

BWR Primary System Modeling

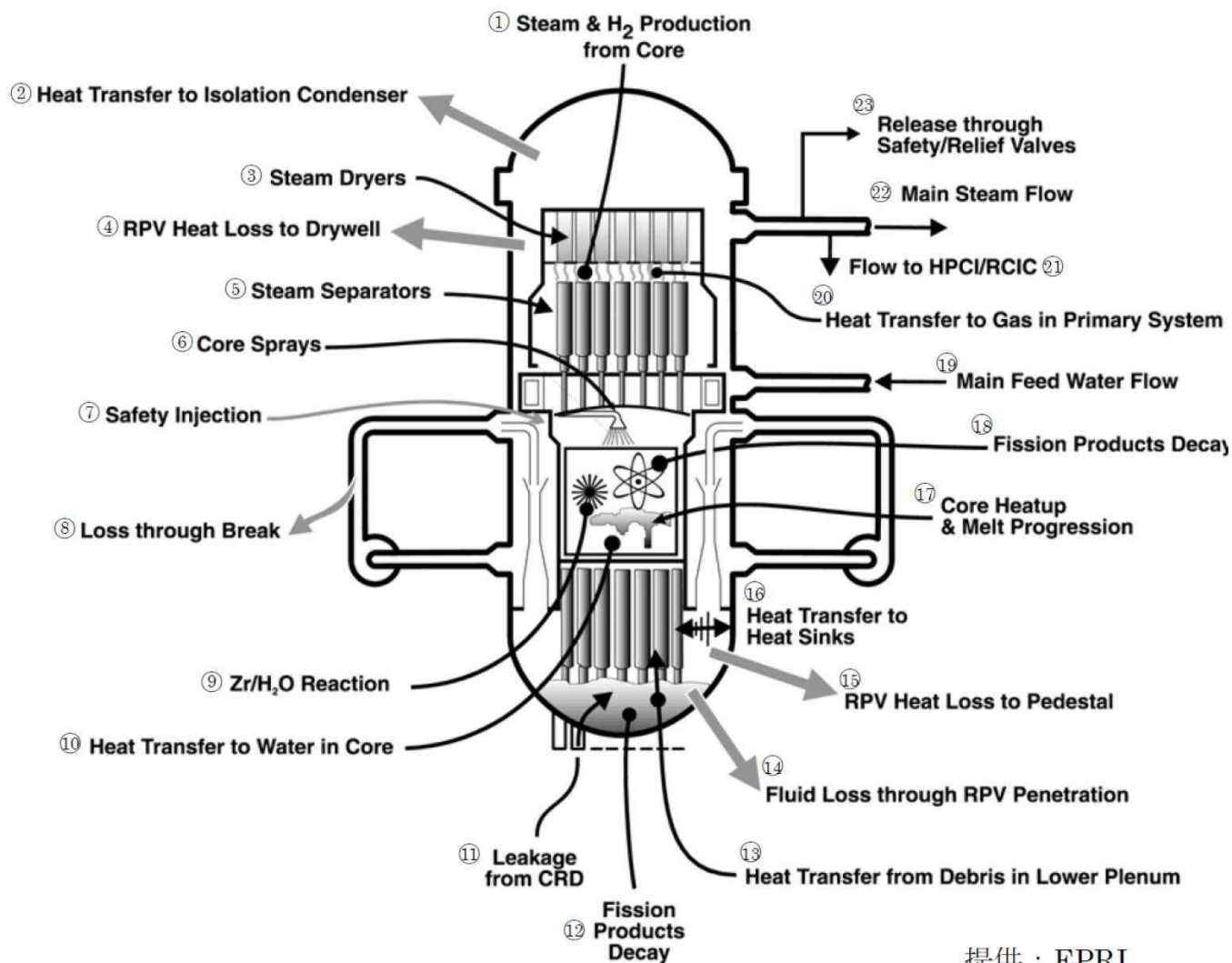


図1 MAAP 原子炉圧力容器内モデルの概要

（福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記（一部省略））

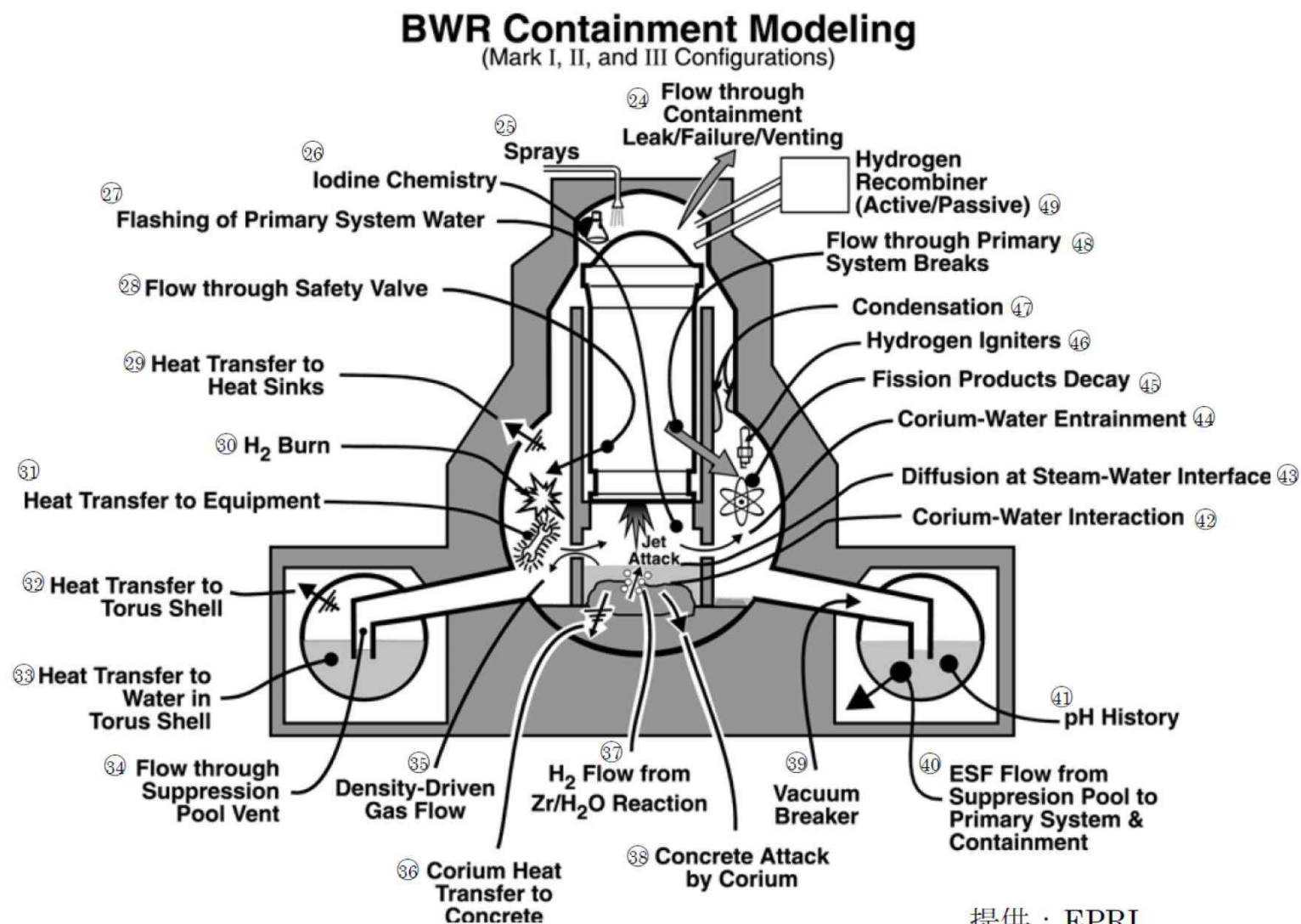
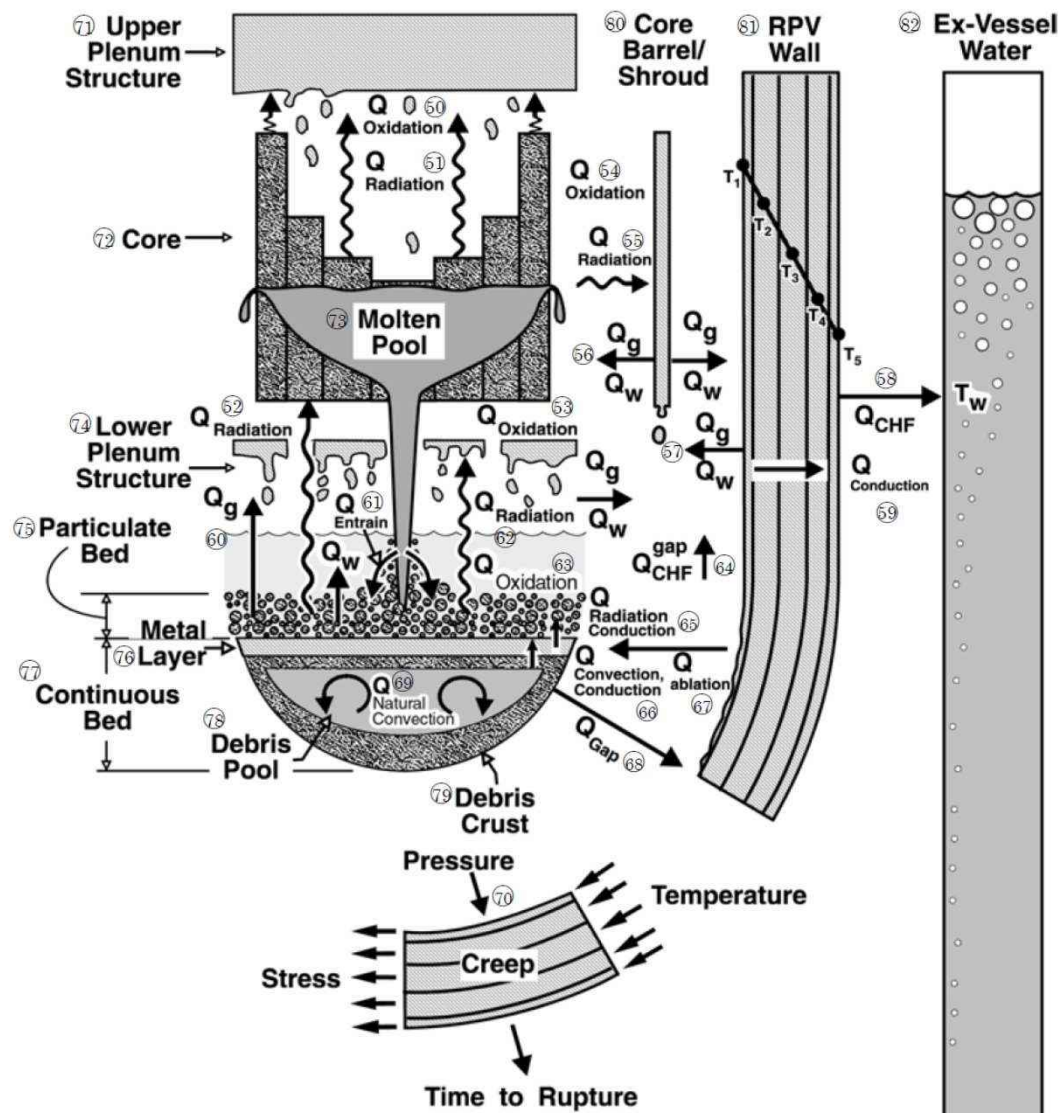


図2 MAAP 原子炉格納容器内モデルの概要

(福島第一原子力発電所事故発生後の詳細な進展メカニズムに関する未確認・未解明事項の調査・検討結果報告書 添付資料1 MAAPコードの概要 より転記 (一部省略))



提供：EPRI

図3 MAAP 原子炉压力容器下部プレナムモデルの概要

（柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 重大事故等対策の有効性評価について 付録3 第5部 MAAP より転記（一部省略・強調））

3.3.7 核分裂生成物（F P）挙動モデル

F Pは過熱された炉心からガス状として原子炉圧力容器内に放出される。なお、希ガス以外のほとんどのF Pは単体を作らないため化合物の化学種として放出される。炉心から放出されたF Pのうち**希ガス以外のF Pは揮発性の高いCsI**においても沸点は1,277℃であり、**原子炉圧力容器あるいは原子炉格納容器内ではガス状態を維持できず、気相中で凝縮しエアロゾル（微粒子）化する。**エアロゾルであるため気相中での落下速度は遅く、ガスの流動とともに移動する。**ゆっくりと床に落下したF Pエアロゾルは構造物表面に沈着あるいは水中へ移動する。**水中の微粒子状F Pは後述するよう素を除いて気相へ出てくることはない。**F Pエアロゾルは重力沈降以外に微粒子特有の移動（熱泳動・拡散泳動）で構造物表面に付着し、また、サプレッション・プール水中のスクラビングやスプレイによっても気相から除去される。**以上はMAAPのF P挙動モデルで模擬されている範囲である。

実際には、CsI 等のような素化学種のエアロゾルでは、原子炉格納容器内に形成されるプール水中に溶解し、放射線により化学反応が促進され、揮発性の無機よう素I2（沸点184.3℃）や水中に溶けた有機物（塗装材等）と反応し、有機よう素が生成され、一部が気相に時間をかけて移動する。なお、水中のよう素の反応はプール水のpH や放射線量、水中の多様な有機物の濃度に強く依存し専用コードを使用しても精度の良い予測が非常に難しいことがよう素反応のOECD 国際標準問題等で示されている。このためMAAPではよう素反応モデルが試験的にオプションとして組み込まれているものの、よう素反応の結果は参照用としてF P計算にフィードバックされない。

本F P挙動モデルは主に以下のモデルから構成される。

炉心燃料からのF P放出モデル

- ・ペレットが高温になり内部のF Pが温度に依存してガス化し、ペレット外へ放出される。

F Pの状態変化・輸送モデル

- ・F Pが気相温度に依存して、気相中で凝固しエアロゾル化する。そのエアロゾルは気相とともに移動し、また各種のメカニズムで構造物表面やプール水に移動する。

F Pの移動に伴う崩壊熱分配モデル

- ・F Pは崩壊熱を有するので、F Pの移動先でF P量に依存した崩壊熱を発生し流体や構造物の熱源になる。

【参考】MAAPコード概要（8/9）



（柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 重大事故等対策の有効性評価について 付録3 第5部 MAAP より転記（一部省略・強調））

また、本F Pモデルにおける概要を以下に示す。

- ・各F Pの質量保存が考慮される。
- ・原子炉圧力容器及び原子炉格納容器内のF P形態はガス状、エアロゾル状、沈着を考慮する（希ガスはガス状のみ）。また、水中及び溶融炉心内のF Pを考慮する。
- ・溶融炉心内に残存するF Pは溶融炉心とともに移動する。
- ・水中のF Pは区画間の水の流れとともに移動する。
- ・崩壊熱は各位置のF P量に応じて分配され、各エネルギー保存式に考慮される。
- ・F Pの崩壊による発生エネルギーは崩壊熱データで考慮する。
- ・F Pの崩壊による質量の変化は考慮しない。

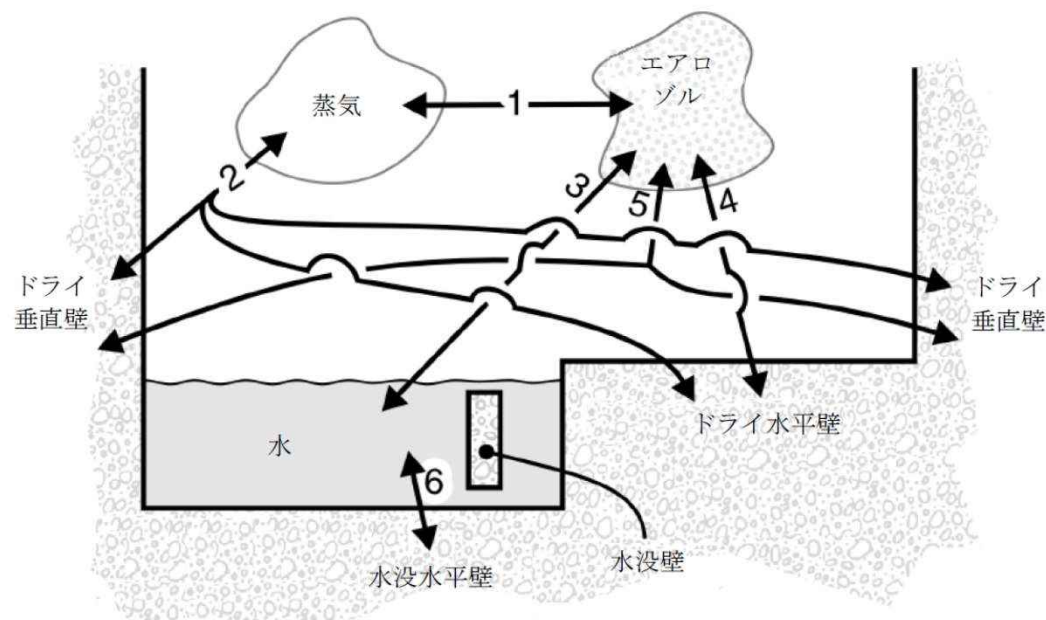
表 3.3-1 MAAPコードのモデル一覧 (5/5)

項目		計算モデル
溶融炉心の挙動モデル (つづき)	原子炉格納容器下部での溶融炉心の挙動(コンクリート侵食)	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリート温度は、深さ方向に準定常の1次元の熱伝導方程式により温度分布を持つと仮定 ・コンクリート温度がコンクリート溶融温度を超えると侵食開始。その際、コンクリート溶融潜熱及び化学反応熱の発生を考慮 ・コンクリートから放出されるガス（水蒸気及び二酸化炭素）は直ちに溶融プールに侵入すると仮定し、溶融プール中の金属との酸化反応を考慮 ・コンクリートのスラグも溶融プールに侵入し、ウラン・ジルコニウム等と混合すると仮定
F P挙動モデル	F P放出	<ul style="list-style-type: none"> ・F Pは炉心温度に対する放出速度の相違に基づき12グループに分類し、各F Pグループの質量保存を考慮 ・溶融炉心・コンクリート相互作用に伴うF P放出を模擬
	遷移・輸送	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉圧力容器及び格納容器内のF P形態は各グループに対し、ガス状、エアロゾル状、沈着を考慮（希ガスはガス状のみ）。また、水中及び溶融炉心内のF Pを考慮 ・気相及び液相中のF Pの輸送は、熱水力計算から求められる体積流量からF P輸送量を計算 ・F Pがガスとエアロゾルの場合は、気体の流れに乗って移動 ・溶融炉心内に残存するF Pは溶融炉心とともに移動 ・水中のF Pは区画間の水の流れとともに移動 ・格納容器及び原子炉圧力容器内での気体、エアロゾル及び構造表面上（沈着）の状態間の遷移を模擬 ・エアロゾルの沈着は、重力沈降、拡散泳動、熱泳動、慣性衝突、F Pガス凝縮、F Pガス再蒸発を模擬。沈着したエアロゾルの再浮遊は考慮していない
	崩壊熱	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊熱は各位置のF P量に応じて分配され、各エネルギー保存式に考慮 ・F P崩壊による発生エネルギーは崩壊熱データで考慮

(柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉 重大事故等対策の有効性評価について 付録3 第5部 MAAP より転記 (一部省略・強調))

表 3.3-2 MAAPコードのFPの核種グループ

グループ	代表核種	説明
1	希ガス	希ガス (Xe, Kr)
2	CsI	CsI 及び RbI。よう素は全てアルカリ FP と結合すると仮定。また、セシウムがほとんどであるため、CsI の物性を用いる。
3	TeO ₂	酸化テルル (TeO ₂)。炉心内に放出されたテルルは直接 TeO ₂ となると仮定。原子炉圧力容器外で放出されたテルルは元素状態にあると仮定するが、蒸気や酸素ガスが存在する場合には酸化されて TeO ₂ になるものと仮定。
4	SrO	ストロンチウムは主として原子炉圧力容器外から元素状態で放出されるが、原子炉格納容器内で酸化されて SrO になるものと仮定。原子炉圧力容器内放出についても、酸化されて SrO になると仮定。
5	MoO ₂	二酸化モリブデン (MoO ₂)。モリブデンが主にコンクリート接触時に放出されると考えられるためである。
6	CsOH	CsOH 及び RbOH を表す。これは、よう素と結合した後に放出される Cs と Rb を表す。
7	BaO	酸化バリウム (BaO) を表す。Ba は化学的周期性から、Sr と同じような挙動を示す。
8	La ₂ O ₃	La を表す。La 類の全三二酸化物の化学的挙動は同様であるので一つのグループとする。これらは不揮発性であるが、原子炉圧力容器内放出が許容されている。主として一酸化物の状態で原子炉圧力容器外に放出されるが、原子炉格納容器内で更に酸化する。
9	CeO ₂	Ce の挙動は La と同様であるが、化学量及びガス分圧が異なるため、違うグループとしている。
10	Sb	アンチモンは元素の形態のまま原子炉圧力容器内及び原子炉圧力容器外へ放出される。
11	Te ₂	原子炉圧力容器外に放出された Te のうち酸化しないものは Te ₂ のままとする。
12	UO ₂	ウラン及び超ウラン元素は特性が異なるため他の FP とは区別してグループ化する。これらは原子炉圧力容器外のみで放出され、原子炉格納容器内で二酸化物になるものと仮定。



FP 輸送パス :

1. 蒸気-エアロゾル (蒸発/凝縮)
2. 蒸気-ドライ壁 (蒸発/凝縮)
3. エアロゾル-水 (拡散泳動, 重力沈降, 熱泳動)
4. エアロゾル-ドライ水平壁 (重力沈降, 熱泳動)
5. エアロゾル-ドライ垂直壁 (慣性衝突, 熱泳動)
6. 水-水没水平壁 (溶解/沈着)

出典 : MAAP4 User's Manual, EPRI

図 3.3-15 格納容器内 FP 遷移モデル