

柏崎刈羽原子力発電所における 放射性物質の拡散影響評価結果

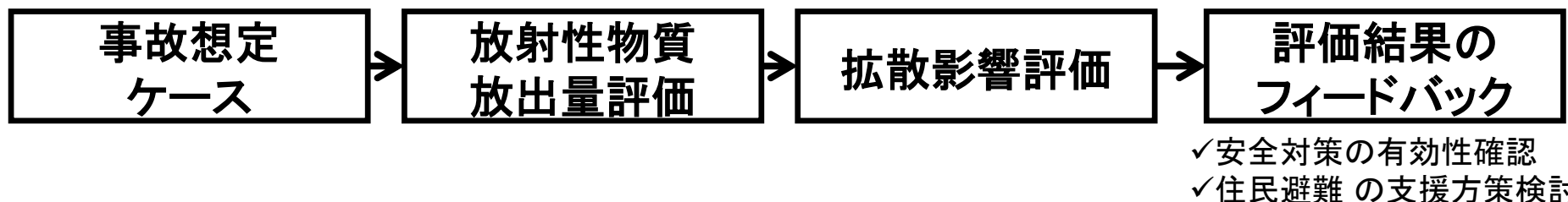
平成27年12月16日

当社による放射性物質の拡散影響評価の実施について

- 当社では、福島第一原子力発電所事故の当事者としての反省を踏まえ、柏崎刈羽原子力発電所の安全性を向上するため、継続的に改善を進めております
- 格納容器ベント関連では、運用面の改善等に基づくベント時間の延伸、よう素フィルタ設置、代替循環冷却設備設置による格納容器ベントの回避等の改善を進めてまいりました
- 今後も安全性向上のため、たゆまぬ努力を続けるとともに、万一の事故時に住民の皆さまの安全を確保するため、避難について最大限の支援を行ってまいります
- この一環として、当社は、下記の目的で放射性物質の拡散影響評価を実施することといたしました
 - ✓ 柏崎刈羽原子力発電所の安全対策の有効性確認
 - ✓ 当社による住民避難の支援方策の検討

(ここまで2015年9月10日公表済み)

評価の流れ



- 本日は、避難等の効果は見込まない拡散影響評価（屋外の同じ場所に居続けた状態での評価）の結果についてご説明いたします
- 避難等の効果を含めた評価、支援方策の検討を引き続き進めてまいります

1. 事故想定ケース

- 現在、原子力規制委員会で適合性審査を受けている38時間後ベントケースを基本ケースとして選定
- 比較のための参考として、新潟県評価の4ケースについても選定

| 評価ケース | 安全機能 | | | 圧力 容器 破損 | 格納 容器 破損 | 放出 開始 時間 | 適合性 審査 | 新潟県 評価 | 当社 評価 |
|--|--------------|--------------|----|----------------|----------------|----------------|-----------|-----------|----------|
| | 注水 | | FV | | | | | | |
| | 設計基準 対応設備 | 過酷事故 対応設備 | | | | | | | |
| 【基本ケース】 38時間後ベントケース (適合性審査シナリオ：①評価条件見直し) | × | ○ 恒設 | ○ | 無 | 無 | 38 時間 | ○ | — ※3 | ○ |

<比較対象>新潟県選定のケース

| | | | | | | | | | |
|---|---|----------|---|---|---|----------|---------|---|---|
| ①25時間後ベントケース (大LOCA※1+全非常用冷却系機能喪失 +全交流電源喪失) | × | ○ 恒設 | ○ | 無 | 無 | 25 時間 | — ※2 | ○ | ○ |
| ②18時間後ベントケース (高圧・低圧機能喪失+全交流電源喪失 +消防車による原子炉注水不能) | × | ○ 消防車 | ○ | 有 | 無 | 18 時間 | — | ○ | ○ |
| ③6時間後ベントケース (シナリオ無し) | × | × | ○ | 有 | 無 | 6 時間 | — | ○ | ○ |
| ④【参考ケース】(注水機能等を考慮しない 状態で格納容器が破損し、フィルタベントを通さず に放射性物質が放出するとしたケース) | × | × | × | 有 | 有 | 8 時間 | — | ○ | ○ |

※1 LOCA：冷却材喪失事故 ※2 設置許可申請時の旧シナリオ
 ※3 平成26年度第4回（2015年3月24日）技術委員会においてご説明済

2. 事故想定ケース毎の放射性物質の大気中への放出量評価結果

| 放出量 (Bq) ※1 | | 希ガス (0.5MeV換算) | よう素 (よう素131等価量)※2 | | | | セシウム 134 | セシウム 136 | セシウム 137※4 |
|----------------------------|-------|-----------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | 粒子 | 無機 | 有機 | 合計※3 | | | |
| 【基本ケース】 38時間後 ベントケース | 38時間後 | 1.01×10^{18} | 4.47×10^9 | 2.17×10^8 | 1.34×10^{10} | 1.81×10^{10} | 1.38×10^9 | 3.44×10^8 | 1.13×10^9 |

<比較対象>新潟県選定のケース

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ①25時間後 ベントケース | 25時間後 | 1.63×10^{18} | 2.49×10^{10} | 1.21×10^9 | 1.49×10^{11} | 1.76×10^{11} | 2.69×10^9 | 7.00×10^8 | 2.19×10^9 |
| ②18時間後 ベントケース | 18時間後 | 2.03×10^{18} | 1.03×10^{12} | 5.02×10^{10} | 3.10×10^{10} | 1.12×10^{12} | 5.77×10^{10} | 1.53×10^{10} | 4.69×10^{10} |
| ③6時間後 ベントケース (シナリオ無し) | 6時間後 | 4.50×10^{18} | 1.21×10^{12} | 5.87×10^{10} | 3.63×10^{10} | 1.31×10^{12} | 5.77×10^{10} | 1.57×10^{10} | 4.69×10^{10} |
| ④【参考ケース】 格納容器過温破損 | 8時間後 | 3.66×10^{18} | 2.87×10^{16} | 5.23×10^{17} | 2.30×10^{16} | 5.75×10^{17} | 8.89×10^{15} | 1.92×10^{15} | 7.07×10^{15} |

※1 放出量は有効数字4桁目を四捨五入した値を記載 (ベント実施後、72時間の総和)

※2 よう素131、132、133、134、135についてそれぞれよう素131換算した後、合計した値

※3 粒子状よう素、無機よう素、有機よう素の総和

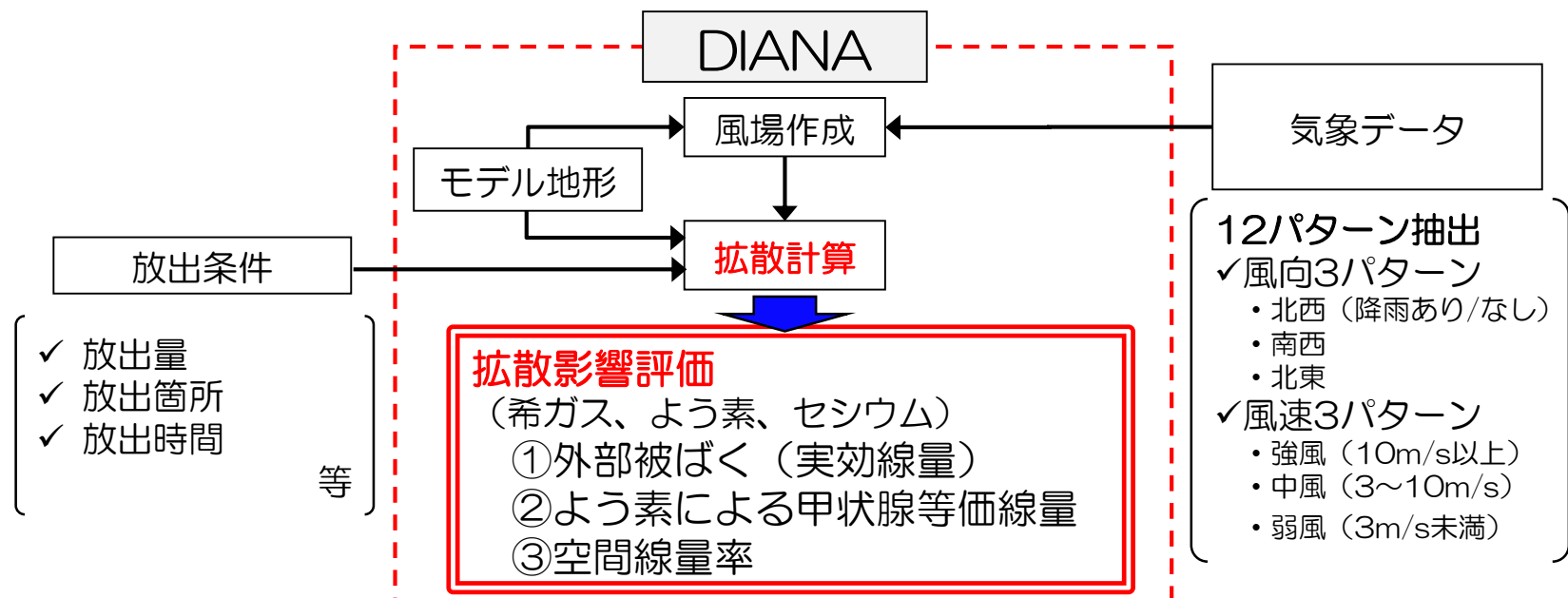
※4 セシウム137の放出量は、参考ケース以外、実用発電用原子炉に係る炉心損傷防止対策及び格納容器破損防止対策の有効性評価に関する審査ガイド記載の 1×10^{14} (100テラ) Bqを下回ることを確認

3-1. DIANAによる拡散影響評価の概要

■DIANA（ダイアナ）により放射性物質の拡散影響評価を実施

DIANAとは

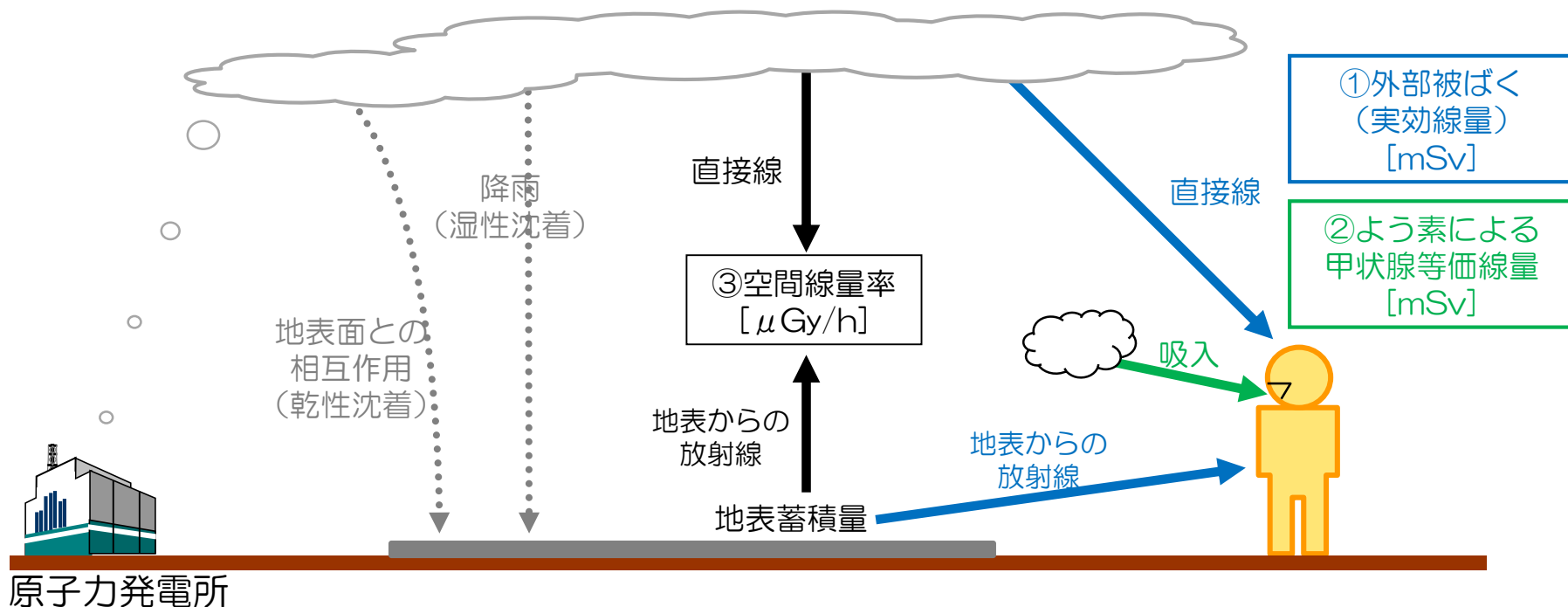
- DIANAは与えられた入力情報を基に、放射性物質の**拡散計算**を行うシステム
- その計算により各種演算を行い、時系列的な地点毎の線量（率）等を出力



DIANA(Dose Information Analysis at Nuclear Accident)：原子力発電所周辺線量予測評価システム

(参考) 拡散影響評価で算出するデータについて

■拡散影響評価では、入力した放出条件及び気象条件に基づき、事故時に放出された放射性物質に由来する**実効線量**、**甲状腺等価線量**、**直接線及び地表からの放射線による空間線量率**を算出



①外部被ばく (実効線量) [mSv]

②よう素による甲状腺等価線量 [mSv]

③空間線量率 [$\mu\text{Gy/h}$]

：直接線、地表からの放射線による外部被ばく

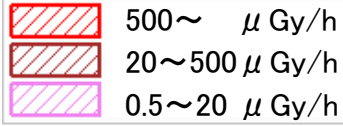
：吸入による内部被ばく

：単位時間あたりの直接線、地表からの放射線量

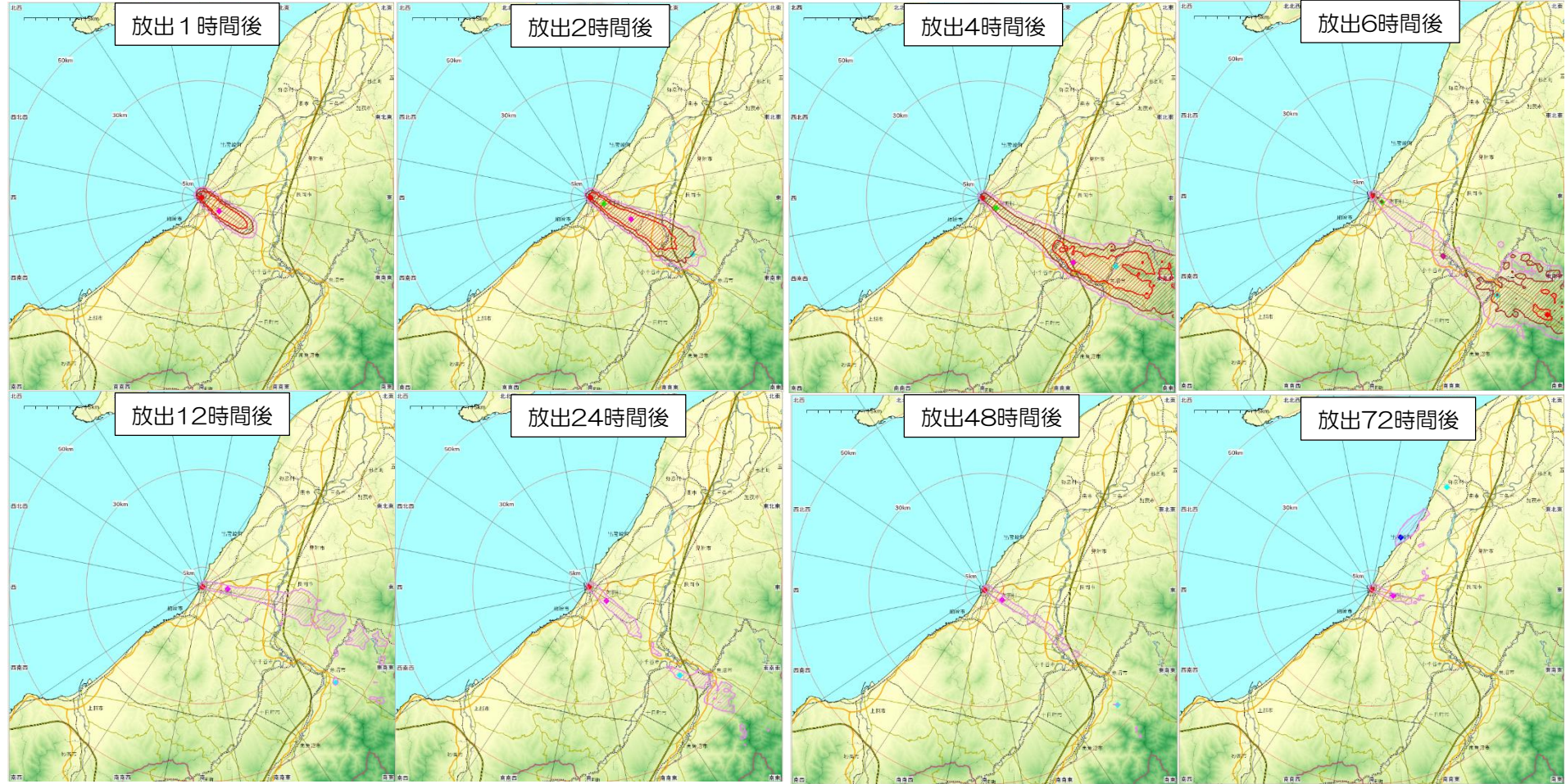
3-2. 空間線量率評価結果の例

評価例（北西、中風、降雨あり）

等値線: 空気吸収線量率



| | |
|-----|----------------|
| ケース | 38時間後ベント（FVあり） |
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |

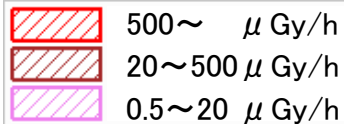


3-2. 空間線量率評価結果の例

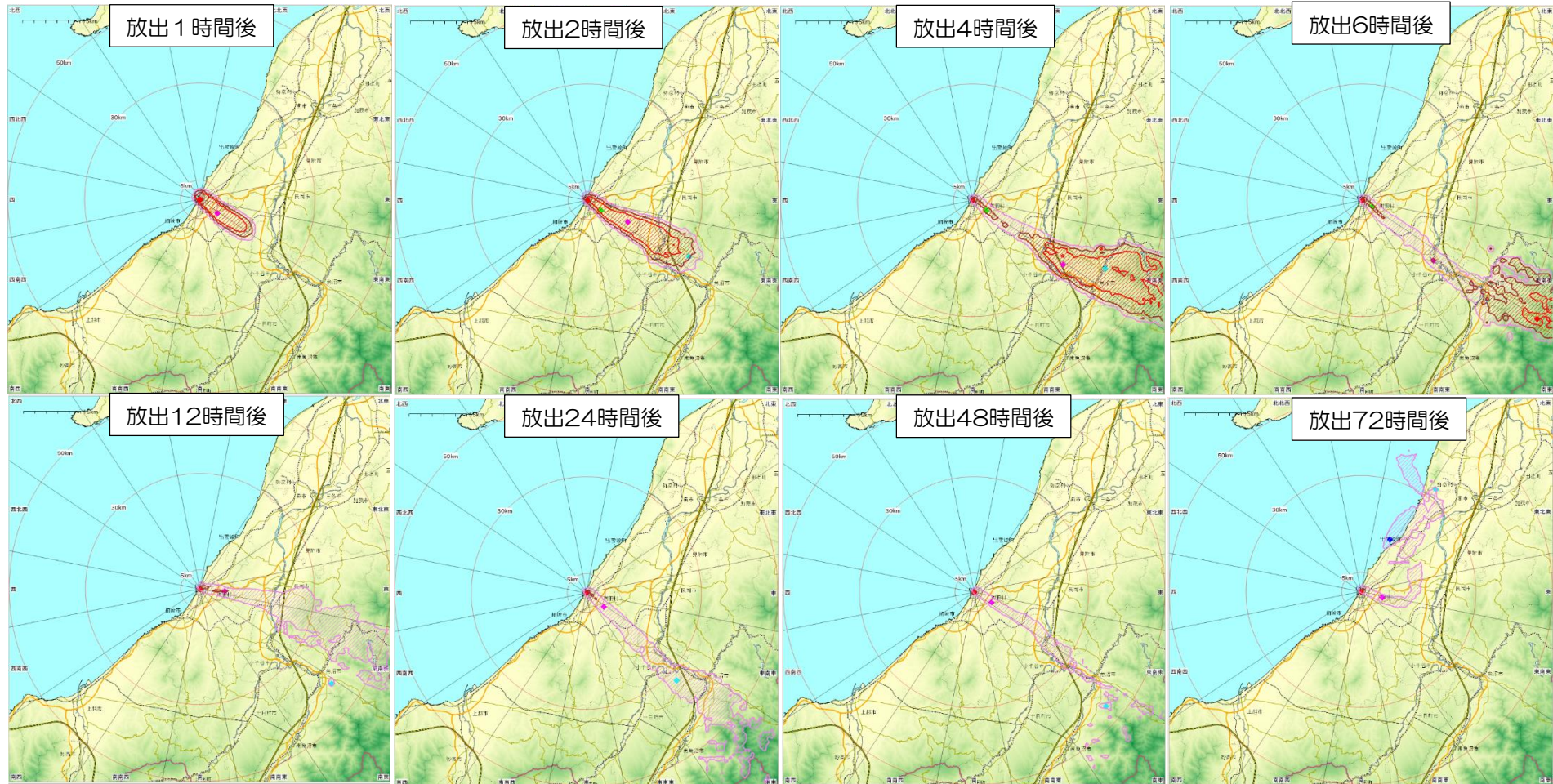
＜比較対象＞ FVあり
①25時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

等値線: 空気吸収線量率



| | |
|-----|----------------|
| ケース | 25時間後ベント（FVあり） |
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |

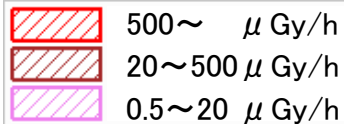


3-2. 空間線量率評価結果の例

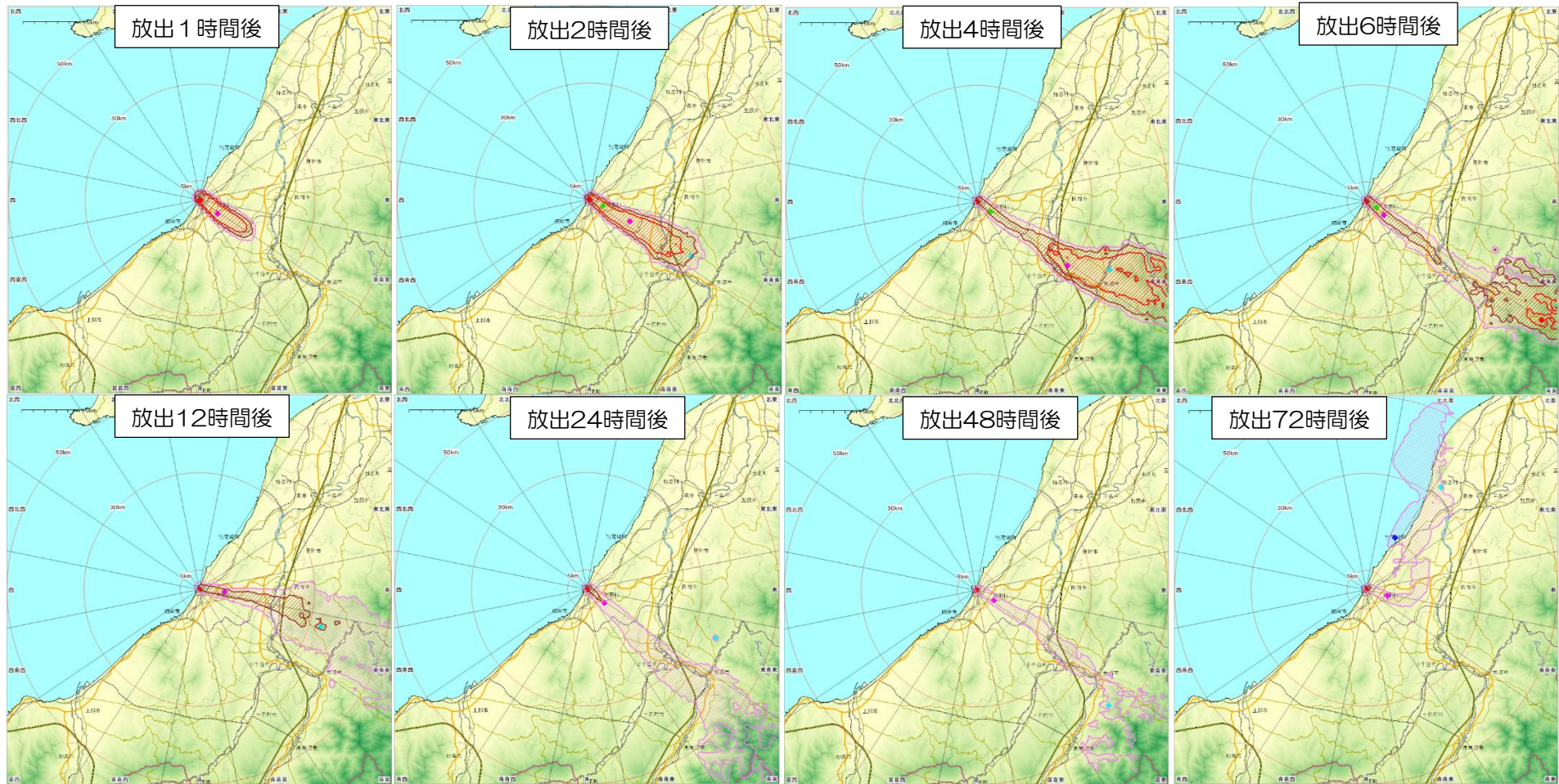
＜比較対象＞FVあり
②18時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

等値線：空気吸収線量率



| | |
|-----|----------------|
| ケース | 18時間後ベント（FVあり） |
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |

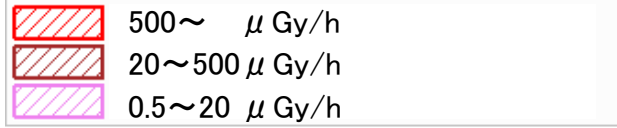


3-2. 空間線量率評価結果の例

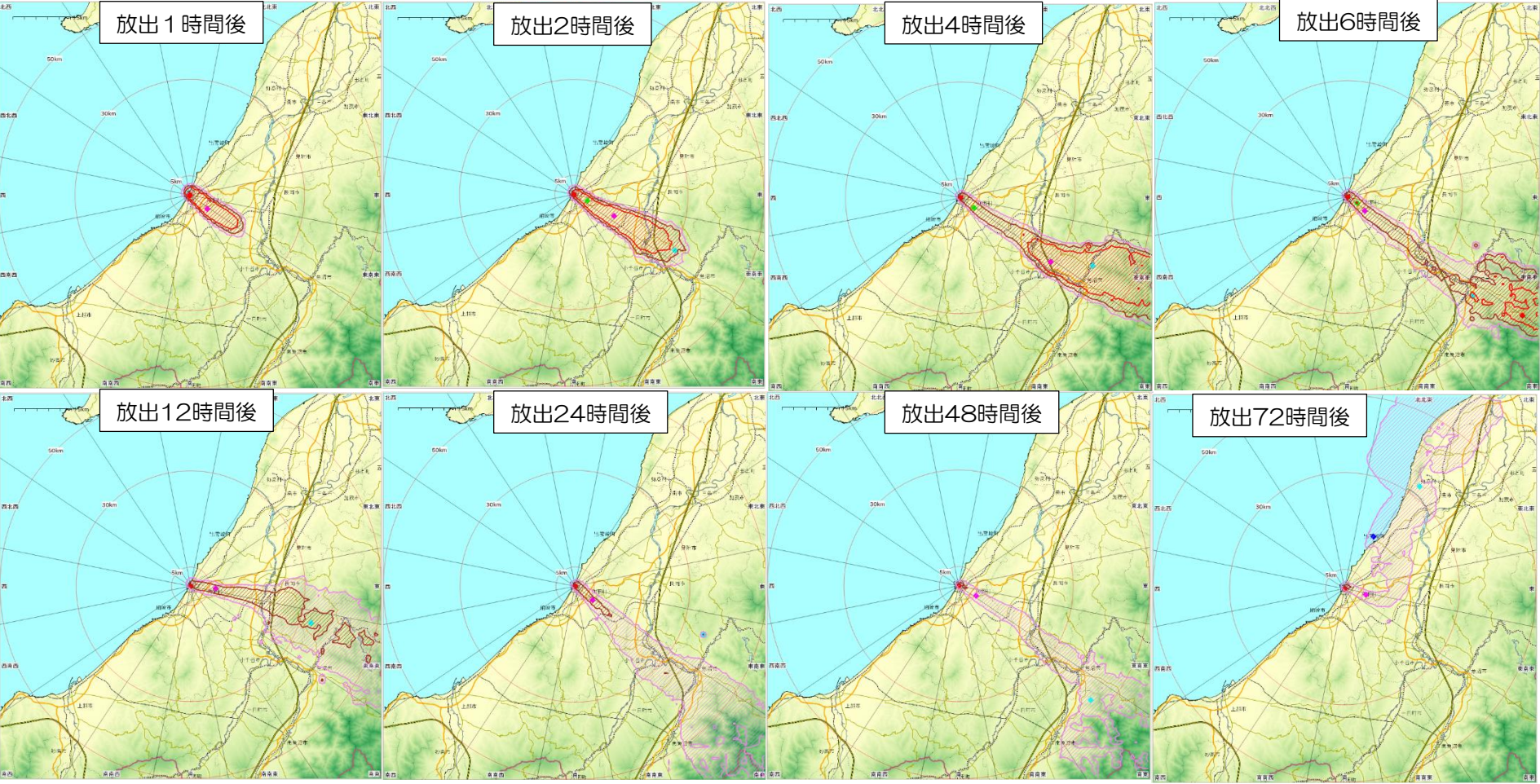
＜比較対象＞ FVあり
 ③6時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

等値線: 空気吸収線量率



| | |
|-----|---------------|
| ケース | 6時間後ベント（FVあり） |
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |



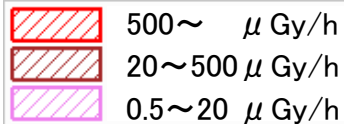
3-2. 空間線量率評価結果の例

<比較対象> FVなし

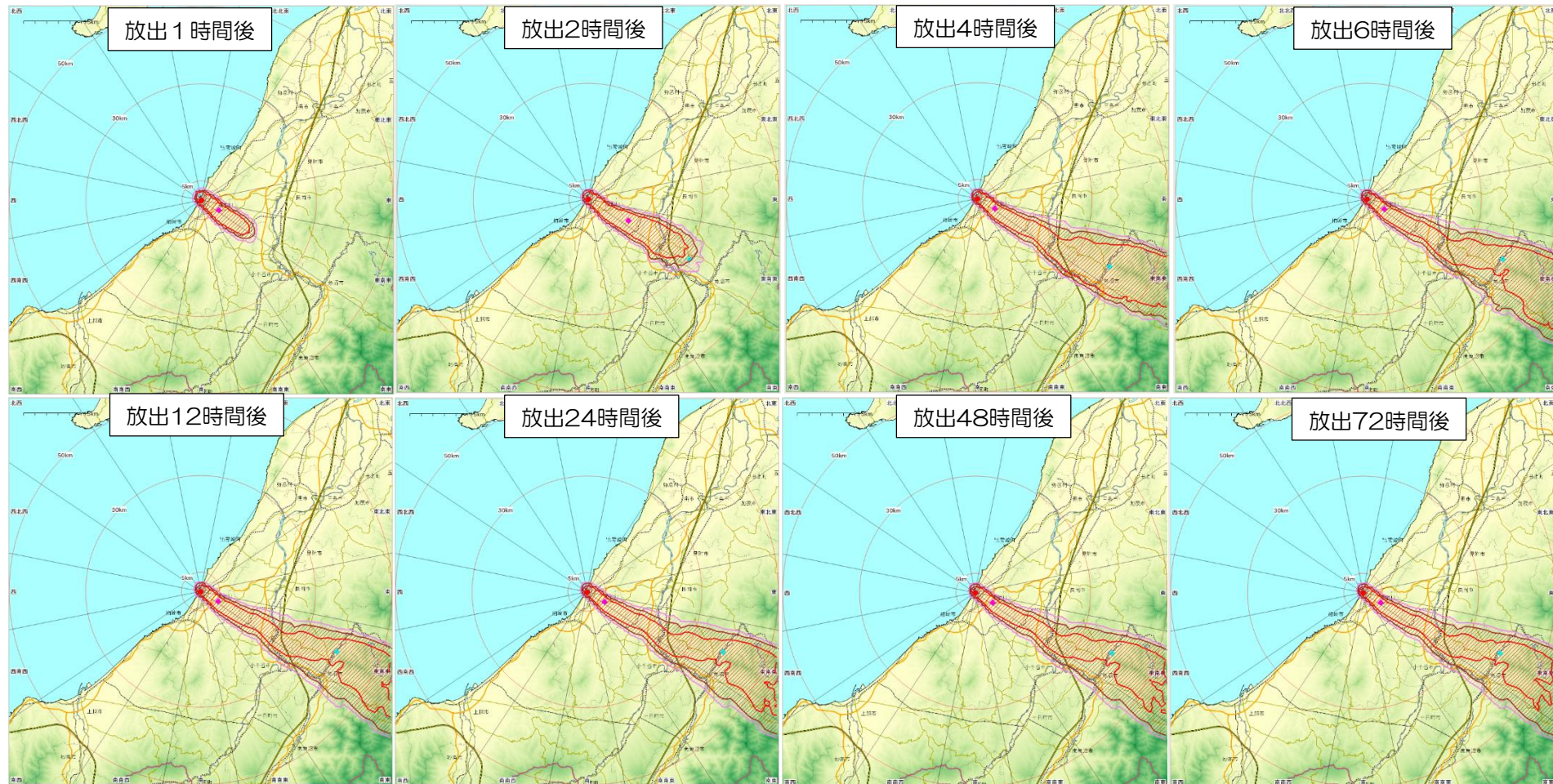
④参考ケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

等値線: 空気吸収線量率

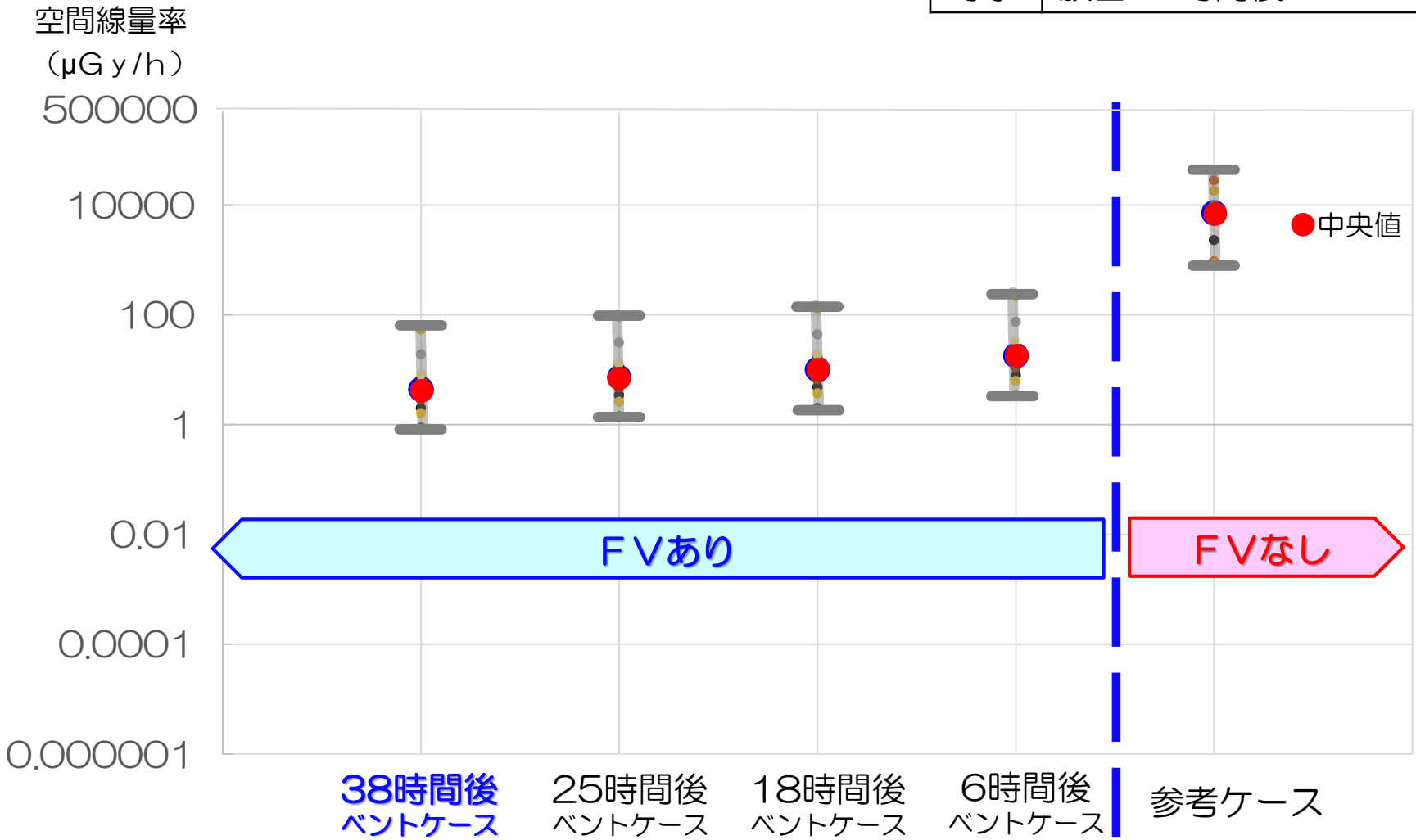


| | |
|-----|-------------------------|
| ケース | 参考ケース（8時間で格納容器が破損、FVなし） |
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |



3-3. 空間線量率評価結果(PAZ圏内の最大値のばらつき)

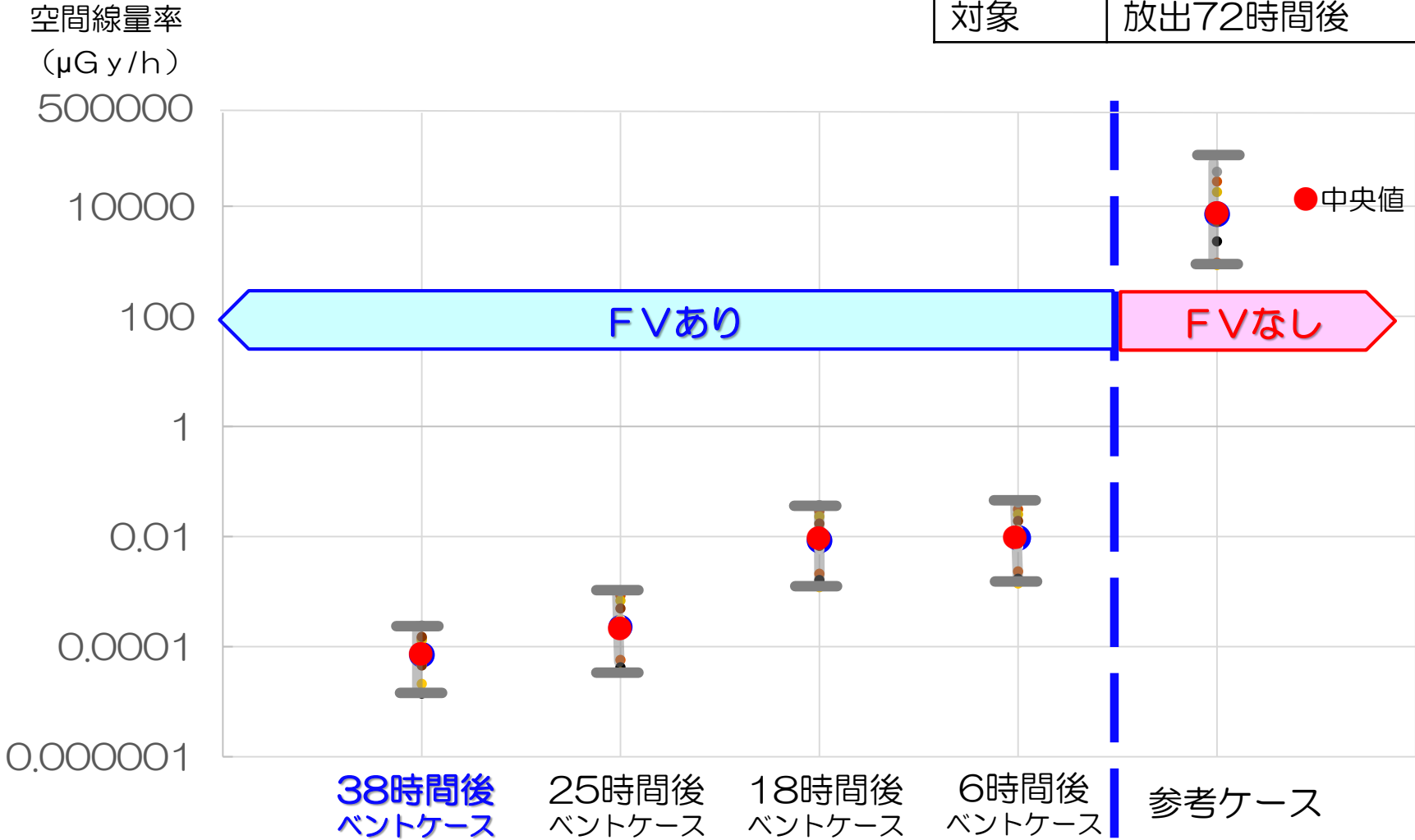
| | |
|----|--------------|
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |
| 対象 | 放出72時間後 |



※各事故ケースについて、気象12パターン (P.4参照) における最大値を抽出し、グラフ化しています

3-3. 地表からの放射線による空間線量率評価結果(PAZ圏内の最大値のばらつき)

| | |
|----|--------------------|
| 核種 | よう素、セシウム (地表蓄積) |
| 対象 | 放出72時間後 |

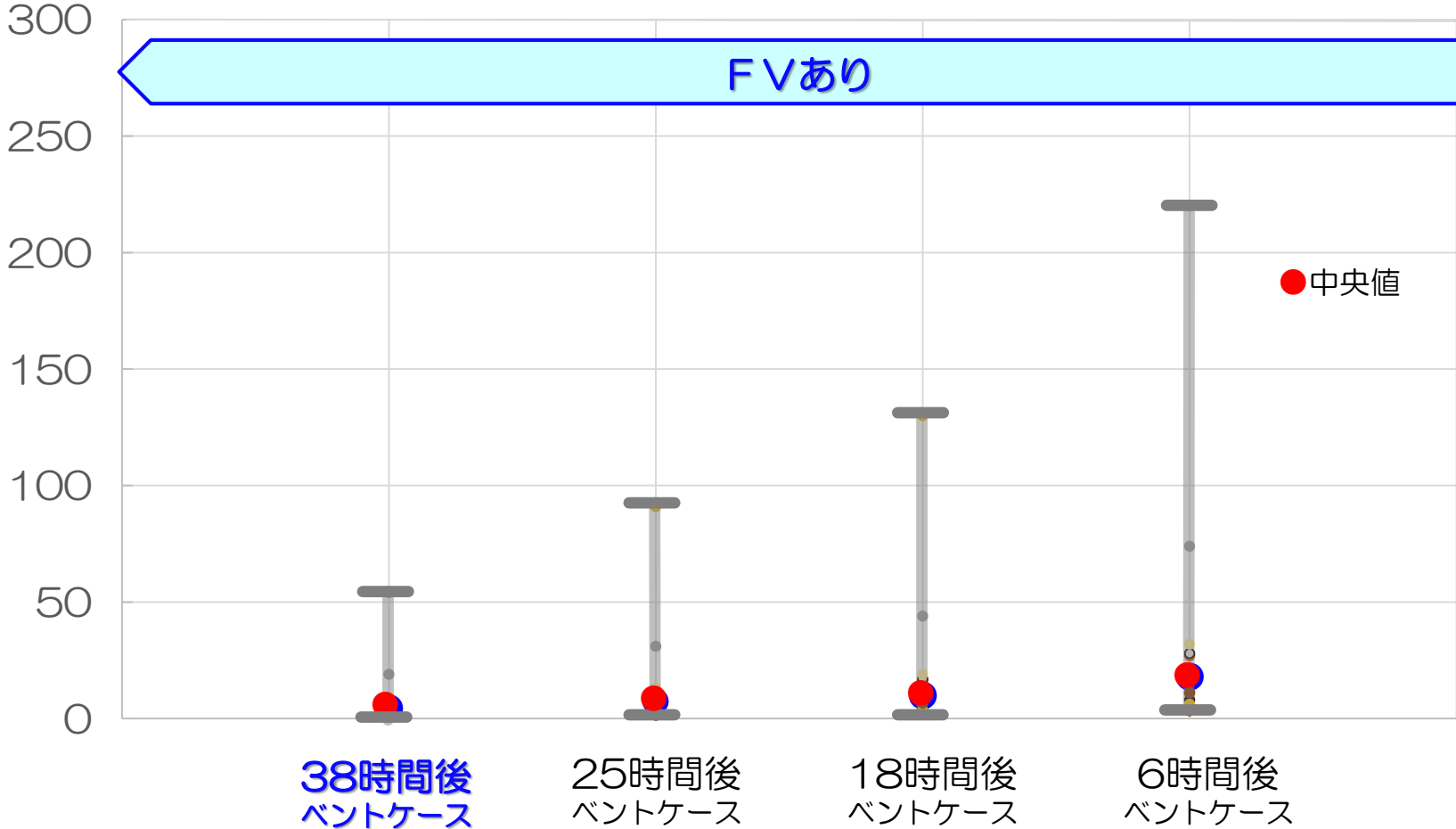


※各事故ケースについて、気象12パターン (P.4参照) における最大値を抽出し、グラフ化しています

3-3. 空間線量率評価結果(PAZ圏内の最大値のばらつき)

| | |
|----|---------|
| 核種 | 希ガス |
| 対象 | 放出72時間後 |

空間線量率
($\mu\text{Gy/h}$)



※各事故ケースについて、気象12パターン (P.4参照) における最大値を抽出し、グラフ化しています

3-4. 外部被ばく(実効線量)評価結果の例

評価例 (北西、中風、降雨あり)



| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 38時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | 希ガス、よう素、 セシウム |
| 避難 | なし |

等値線: 外部被ばく実効線量

| | |
|--|------------|
| | 100~ mSv |
| | 50~100 mSv |
| | 20~50 mSv |
| | 5~20 mSv |
| | 1~5 mSv |

3-4. 外部被ばく（実効線量）評価結果の例

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 25時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | 希ガス、よう素、 セシウム |
| 避難 | なし |



等値線: 外部被ばく実効線量

| | |
|--|------------|
| | 100~ mSv |
| | 50~100 mSv |
| | 20~50 mSv |
| | 5~20 mSv |
| | 1~5 mSv |

3-4. 外部被ばく（実効線量） 評価結果の例

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 18時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | 希ガス、よう素、 セシウム |
| 避難 | なし |



等値線: 外部被ばく実効線量

| | |
|--|------------|
| | 100～ mSv |
| | 50～100 mSv |
| | 20～50 mSv |
| | 5～20 mSv |
| | 1～5 mSv |

3-4. 外部被ばく（実効線量）評価結果の例

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|-------------------|
| ケース | 6時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | 希ガス、よう素、 セシウム |
| 避難 | なし |



等値線: 外部被ばく実効線量

| | |
|--|--------------|
| | 100~ 150 mSv |
| | 50~ 100 mSv |
| | 20~ 50 mSv |
| | 5~ 20 mSv |
| | 1~ 5 mSv |

3-4. 外部被ばく（実効線量） 評価結果の例

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------------------|
| ケース | 参考ケース （8時間で格納容器 破損、FVなし） |
| 核種 | 希ガス、よう素、 セシウム |
| 避難 | なし |



等値線: 外部被ばく実効線量

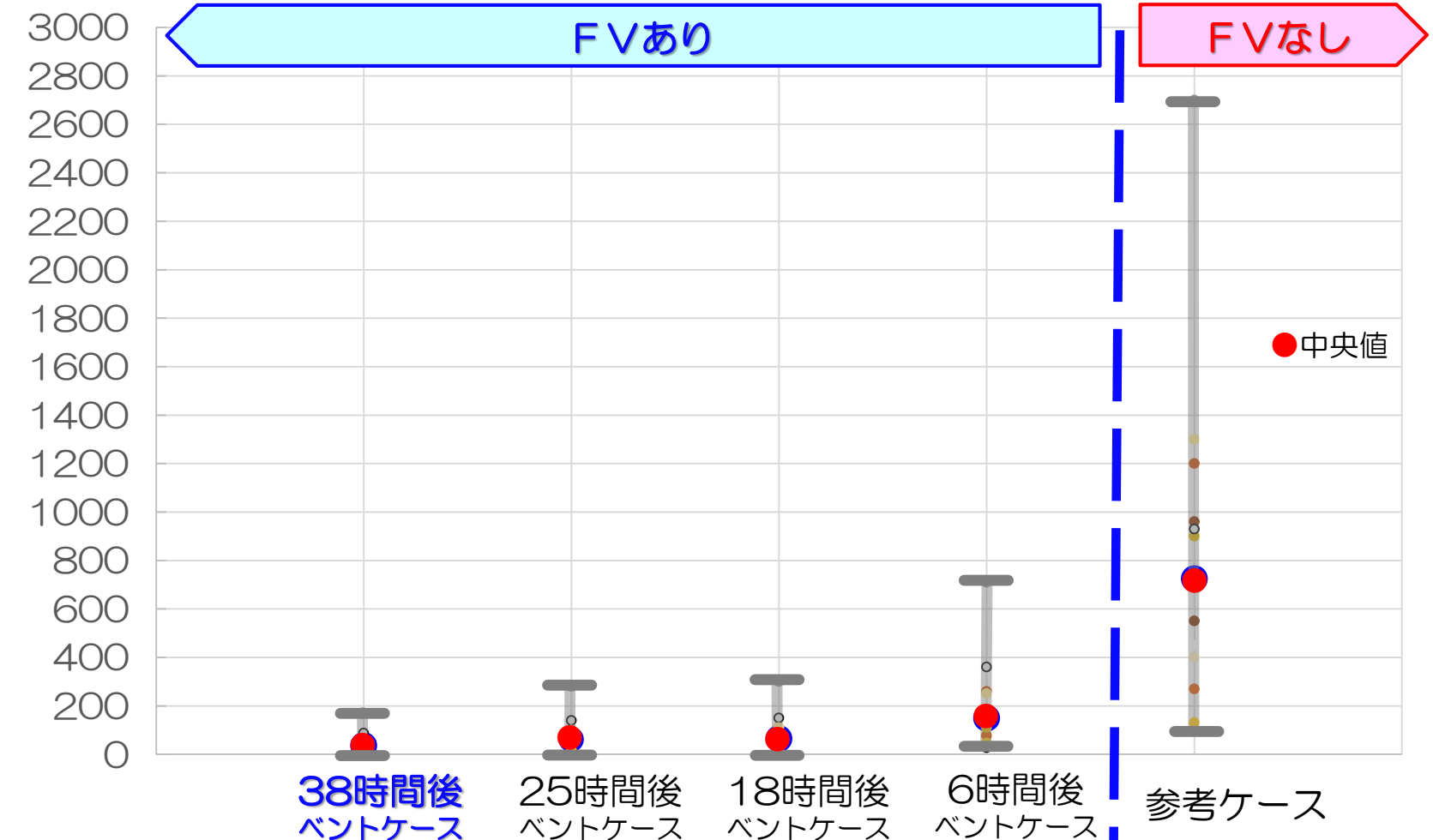
| | |
|--|------------|
| | 100~ mSv |
| | 50~100 mSv |
| | 20~50 mSv |
| | 5~20 mSv |
| | 1~5 mSv |

3-5. 外部被ばく（実効線量） 評価結果(PAZ圏内の最大値のばらつき)

| | |
|----|--------------|
| 核種 | 希ガス、よう素、セシウム |
| 対象 | 放出後の72時間積算値 |
| 避難 | なし |

外部被ばく（実効線量）

(mSv)



※各事故ケースについて、気象12パターン（P.4参照）における最大値を抽出し、グラフ化しています

3-6. よう素による甲状腺等価線量評価結果の例

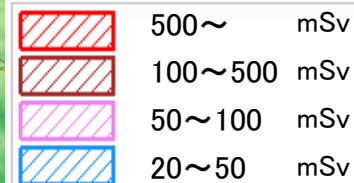
【基本ケース】 FVあり
38時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 38時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | よう素 |
| 避難 | なし |



等値線: 甲状腺等価線量



3-6. よう素による甲状腺等価線量評価結果の例

<比較対象> FVあり
①25時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 25時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | よう素 |
| 避難 | なし |



等値線: 甲状腺等価線量

| | | |
|--|---------|-----|
| | 500~ | mSv |
| | 100~500 | mSv |
| | 50~100 | mSv |
| | 20~50 | mSv |

3-6. よう素による甲状腺等価線量評価結果の例

＜比較対象＞ FVあり
②18時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------|
| ケース | 18時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | よう素 |
| 避難 | なし |



等値線: 甲状腺等価線量

| | | |
|--|---------|-----|
| | 500～ | mSv |
| | 100～500 | mSv |
| | 50～100 | mSv |
| | 20～50 | mSv |

3-6. よう素による甲状腺等価線量評価結果の例

＜比較対象＞ FVあり
 ③6時間後ベントケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|-------------------|
| ケース | 6時間後ベント (FVあり) |
| 核種 | よう素 |
| 避難 | なし |



等値線: 甲状腺等価線量

| | | |
|--|---------|-----|
| | 500～ | mSv |
| | 100～500 | mSv |
| | 50～100 | mSv |
| | 20～50 | mSv |

3-6. よう素による甲状腺等価線量評価結果の例

＜比較対象＞ FVなし
④参考ケース

評価例（北西、中風、降雨あり）

| | |
|-----|--------------------------------|
| ケース | 参考ケース （8時間で格納容器 破損、FVなし） |
| 核種 | よう素 |
| 避難 | なし |

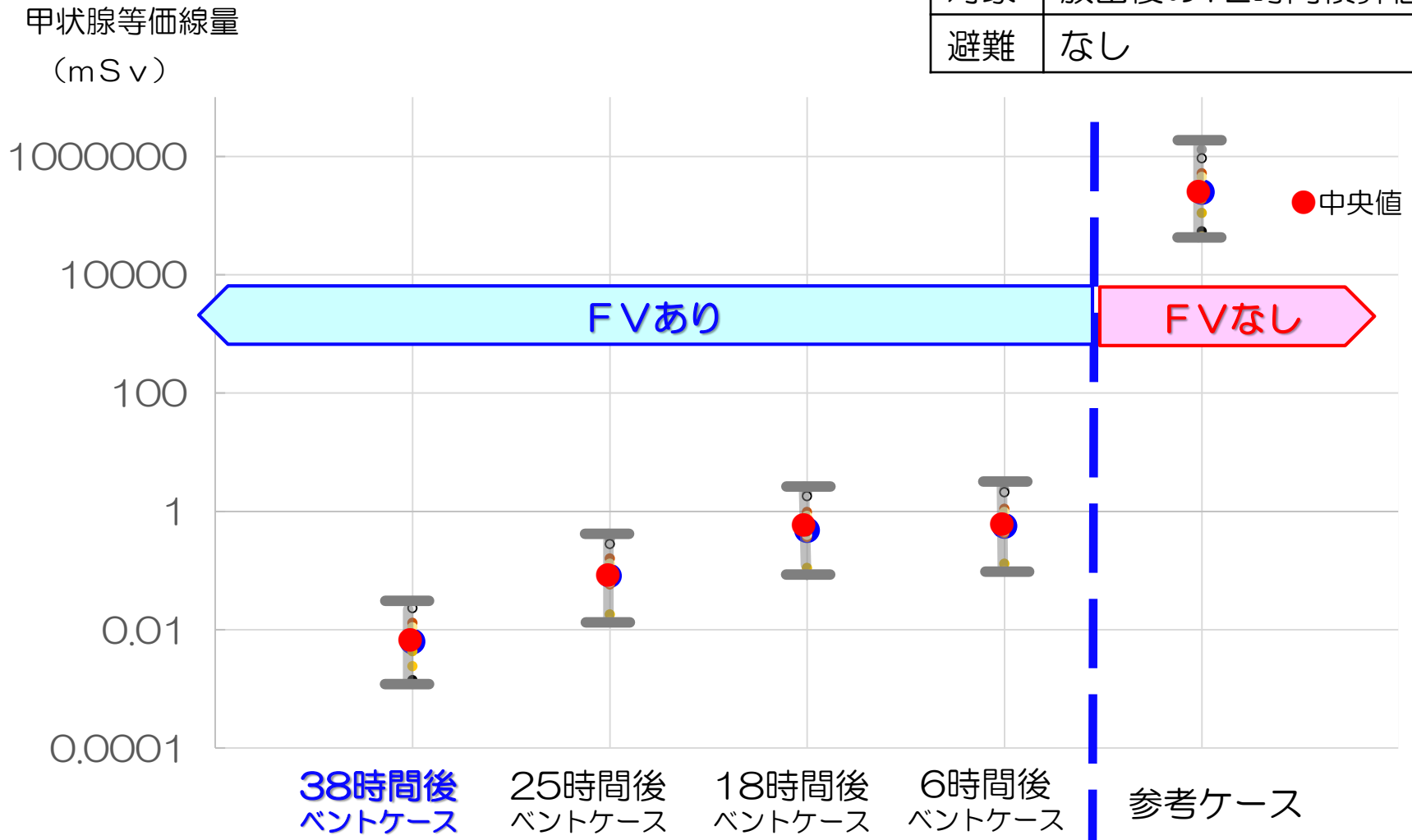


等値線: 甲状腺等価線量

| | | |
|--|---------|-----|
| | 500～ | mSv |
| | 100～500 | mSv |
| | 50～100 | mSv |
| | 20～50 | mSv |

3-7. よう素による甲状腺等価線量評価結果（PAZ圏内の最大値のばらつき）

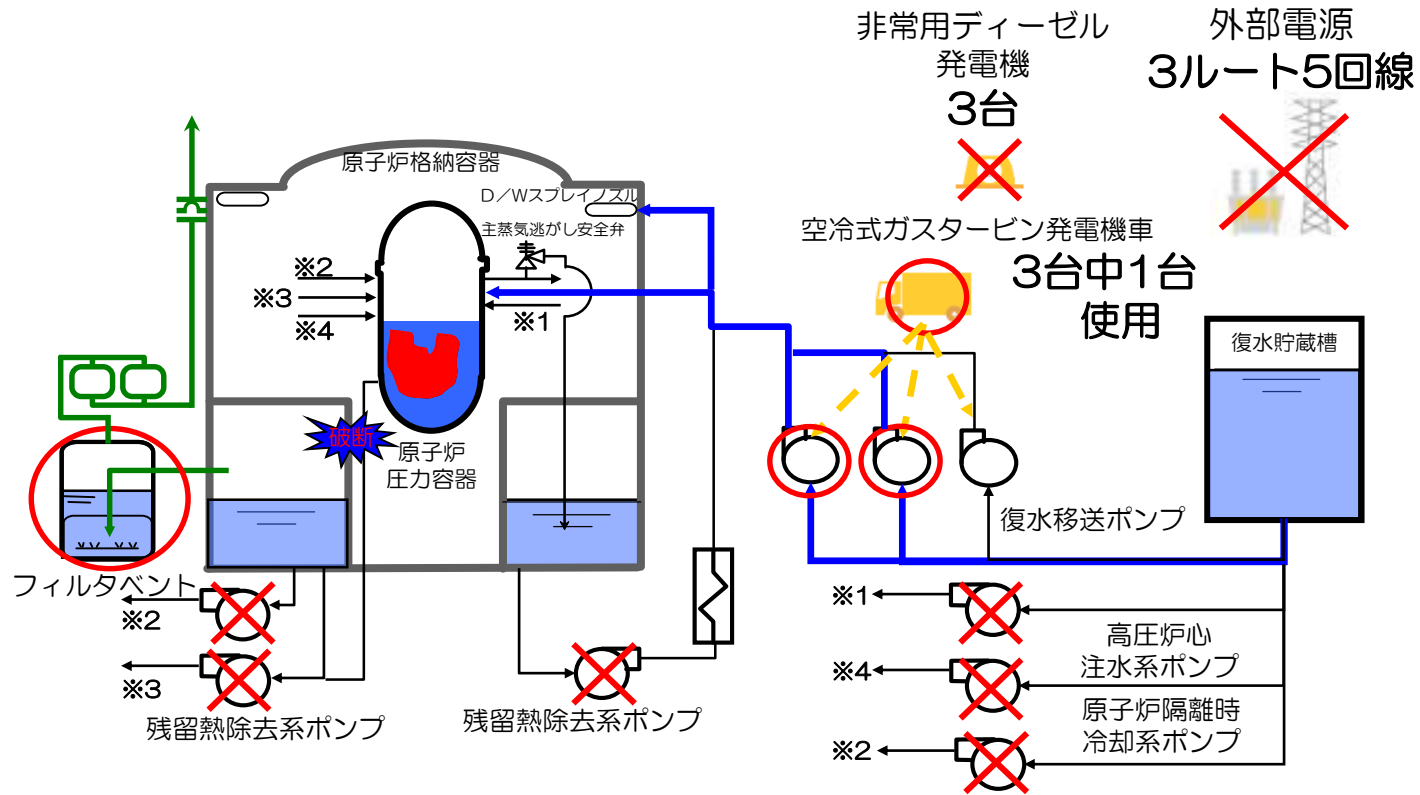
| | |
|----|-------------|
| 核種 | よう素 |
| 対象 | 放出後の72時間積算値 |
| 避難 | なし |



※各事故ケースについて、気象12パターン（P.4参照）における最大値を抽出し、グラフ化しています

参考

【基本ケース】 38時間後、①25時間後ベントケース



【基本ケース、①ケースの前提条件：無条件に下記の状態継続を仮定】

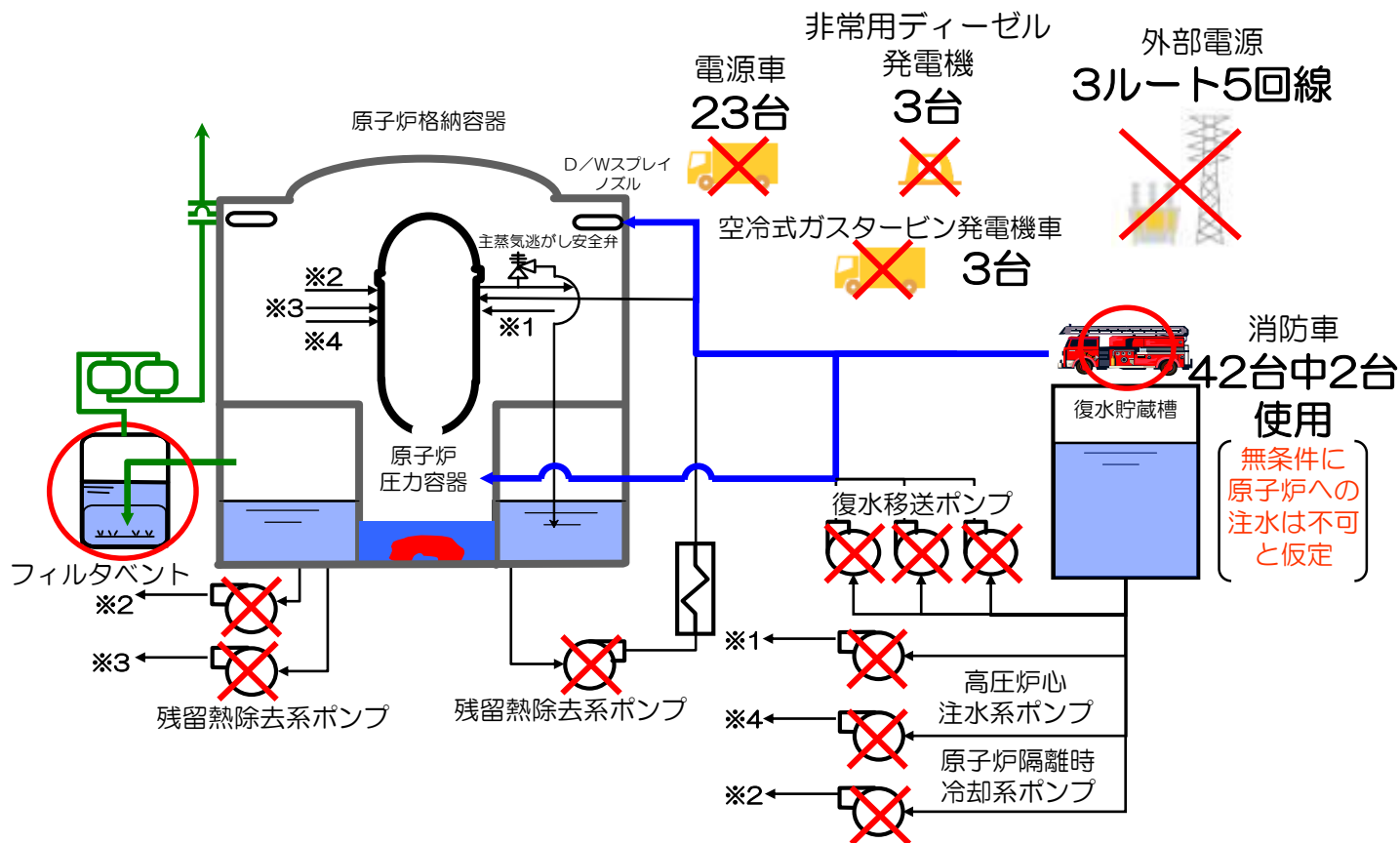
- 原子炉内の水が大量に喪失する事象が発生
- 事故時に原子炉へ水を注水する設備が全て使用不可
(ただし、建屋内の原子炉へ注水する設備が一部使用可)

➡ ①25時間後ベント
(設置許可申請時の旧シナリオ)

- 訓練による力量向上や運用面の改善
- ガスタービン発電機からの受電開始を120分後 ⇒ 70分後
 - 貯水池から復水貯蔵槽への補給水量を90m³/h ⇒ 130m³/h など

➡ 基本ケース 38時間後ベント
(適合性審査シナリオ)

②18時間後ベントケース

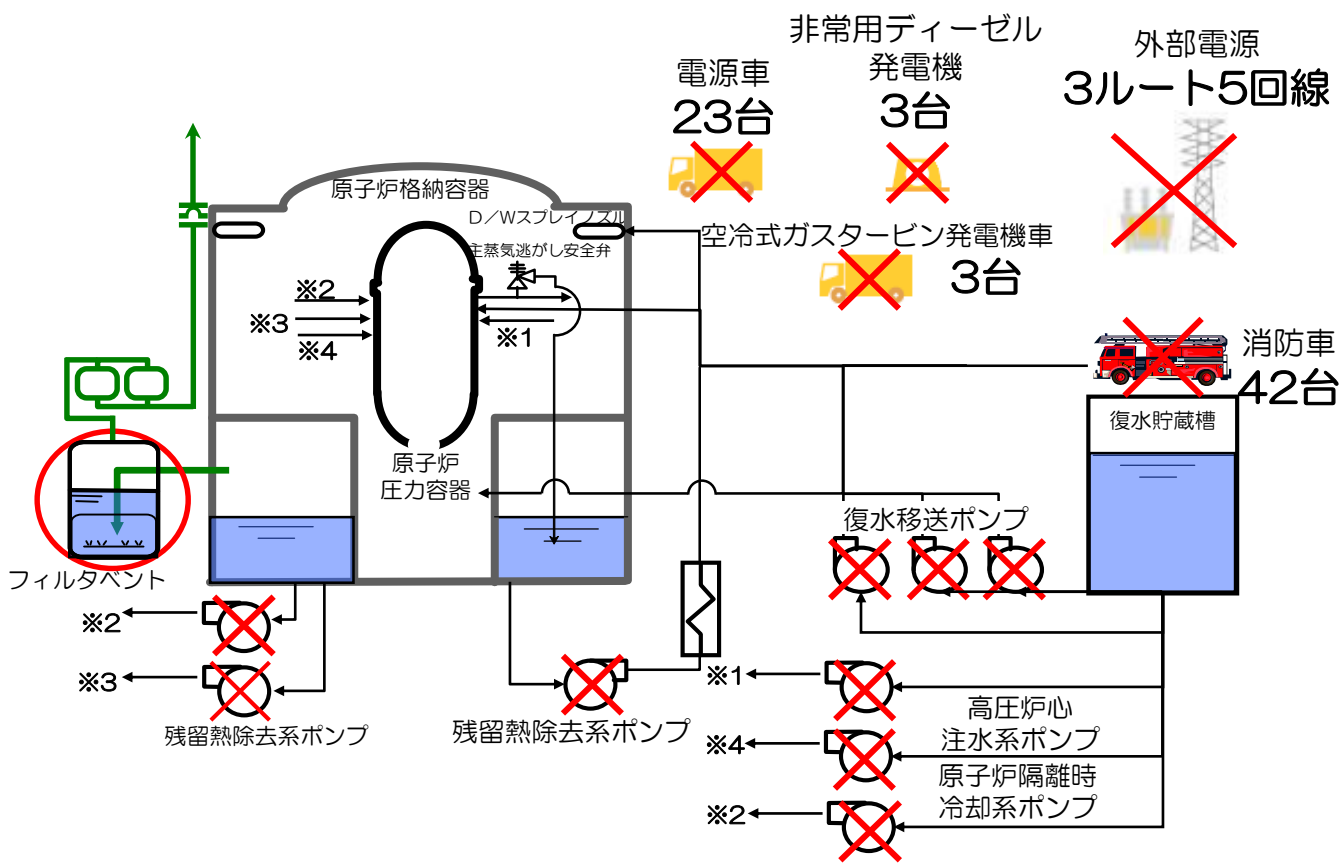


【②ケースの前提条件：無条件に下記の状態継続を仮定】

- ▶ 建屋内の原子炉へ注水する設備が全て使用不可
- ▶ 消防車による原子炉への注水不可（格納容器内部のみ注水可）

②18時間後
ベント

③6時間後ベントケース：シナリオ無し



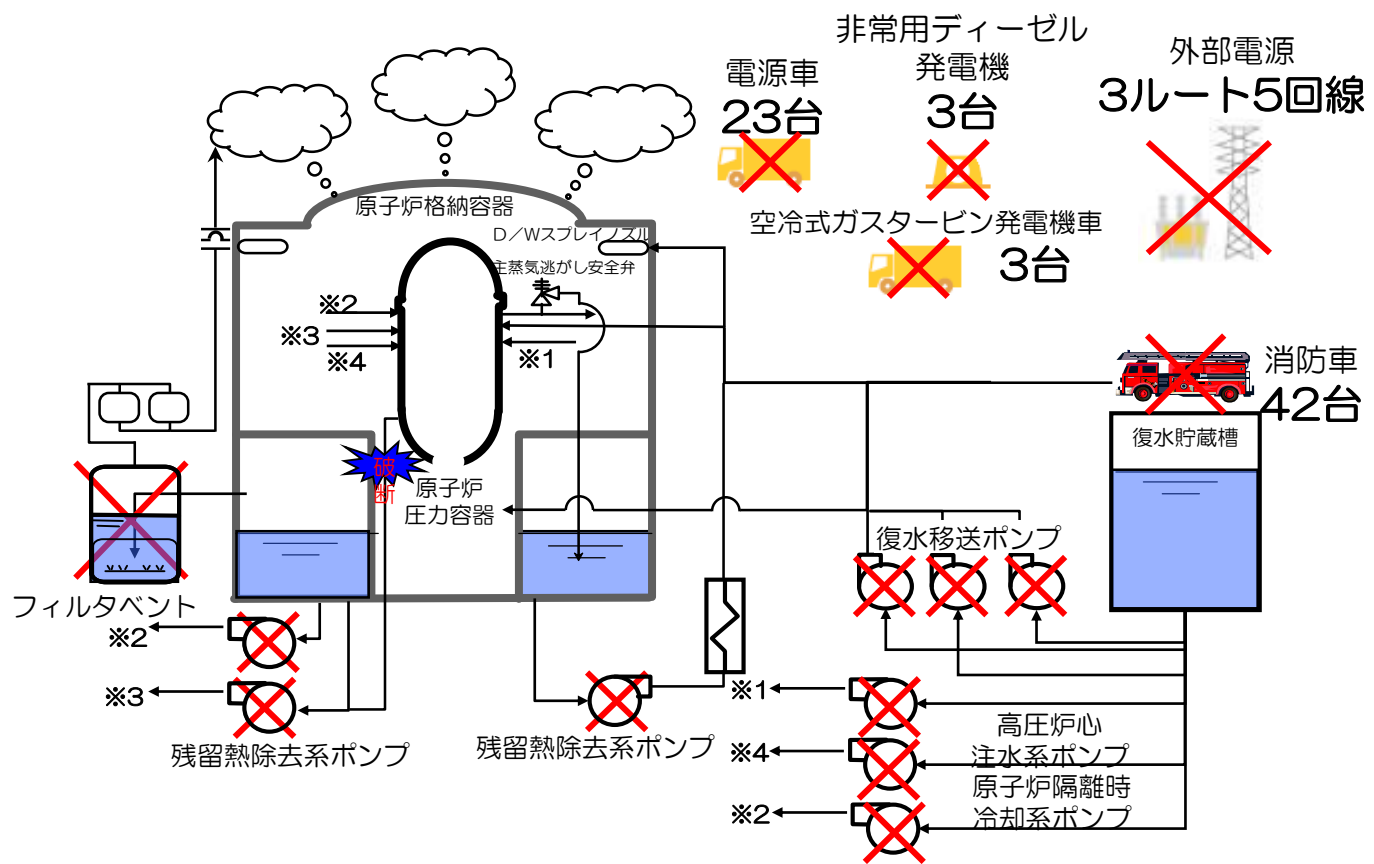
【③ケースの前提条件：無条件に下記の状態継続を仮定】

- 原子炉格納容器の健全性が強制的に維持
- FVのみ使用可能



③6時間後
ベント

④参考ケース



【④ケースの前提条件：無条件に下記の状態継続を仮定】

▶ 発電所内の設備がすべて使用不可

④8時間後
格納容器破損

事故想定ケース毎の放射性物質放出量評価方法

- 事故想定5ケースについて、事故解析コード（MAAP※1）等を用いて放射性物質の放出量を算出

※1：Modular Accident Analysis Program

| 評価ケース | 希ガス | セシウム | よう素 | 放出高さ※3 | 放出継続時間 |
|---|-------------------------------|--|--|----------------------------------|---|
| 【基本ケース】 38時間後 ベントケース | ほぼ全量※2 (MAAPに基づき算出) | 格納容器内、フィルタ装置での除去を考慮した量 (MAAPに基づき算出) | フィルタ装置、格納容器内pH制御、よう素フィルタでの除去を考慮した量 (MAAP及び文献値を組み合わせ算出) | フィルタベント排気口高さ (地上40.4m) | 格納容器内に蓄積されていたものについては、MAAPに基づきベント後ほぼ1時間で全量放出を仮定。その後生成されるものについては、1時間ごとに72時間放出を仮定 |
| <比較対象>新潟県選定のケース | | | | | |
| ①25時間後 ベントケース | | | | | |
| ②18時間後 ベントケース | 全量 (MAAPに基づき算出) | 格納容器内、フィルタ装置での除去を考慮した量 (18時間後ベントにおける放出量を基に時間差補正して算出) | 格納容器内pH制御、フィルタ装置、よう素フィルタでの除去を考慮した量 (18時間後ベントにおける放出量を基に時間差補正して算出) | | |
| ③6時間後 ベントケース | 全量 | | | | |
| ④参考ケース | 全量 | 格納容器破損のためフィルタ装置、格納容器内pH制御、よう素フィルタでの除去は考慮せず (福島第一2号機事故における放出量を基に出力比補正及び時間差補正して算出) | 原子炉建屋ブローアウトパネル高さ (地上31.8m) (開する想定) | 放出後1時間で全量放出を仮定 | |

※2：希ガスの一部は炉心にとどまるため、ほぼ全量とした ※3：大湊側敷地高さ12mを考慮して評価

重大事故への備え (1/2)

■ 様々な手段により、原子炉の冷却機能を強化しています

代替の高圧注水手段



高圧代替注水系の設置

減圧の信頼性向上



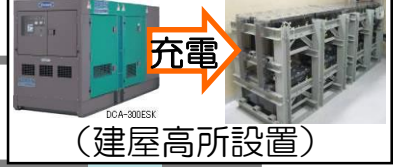
予備ポンベの配備

代替の低圧注水手段



消防車配備
(通常時高台待機)

蓄電池増強



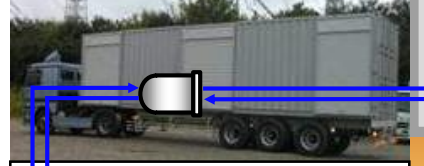
(建屋高所設置)

様々な電源供給手段の強化

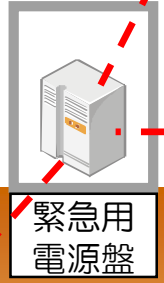
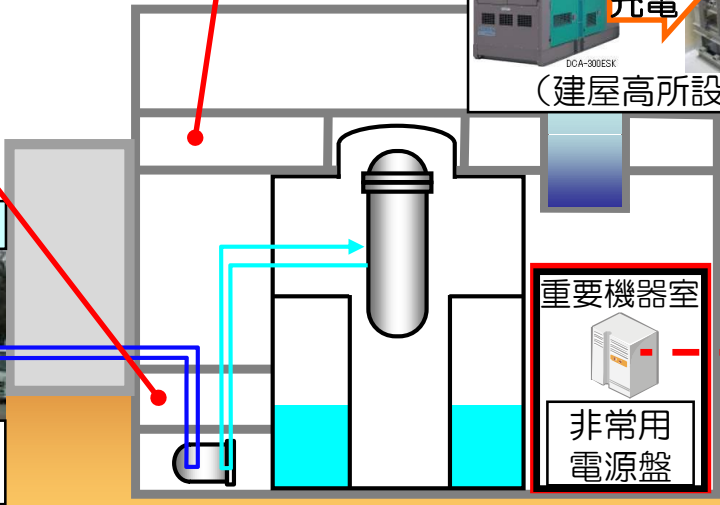


ガスタービン発電機車
(高台配備)

除熱手段の確保



代替熱交換器車配備
(通常時高台待機)



緊急用電源盤



電源車配備
(通常時高台待機)

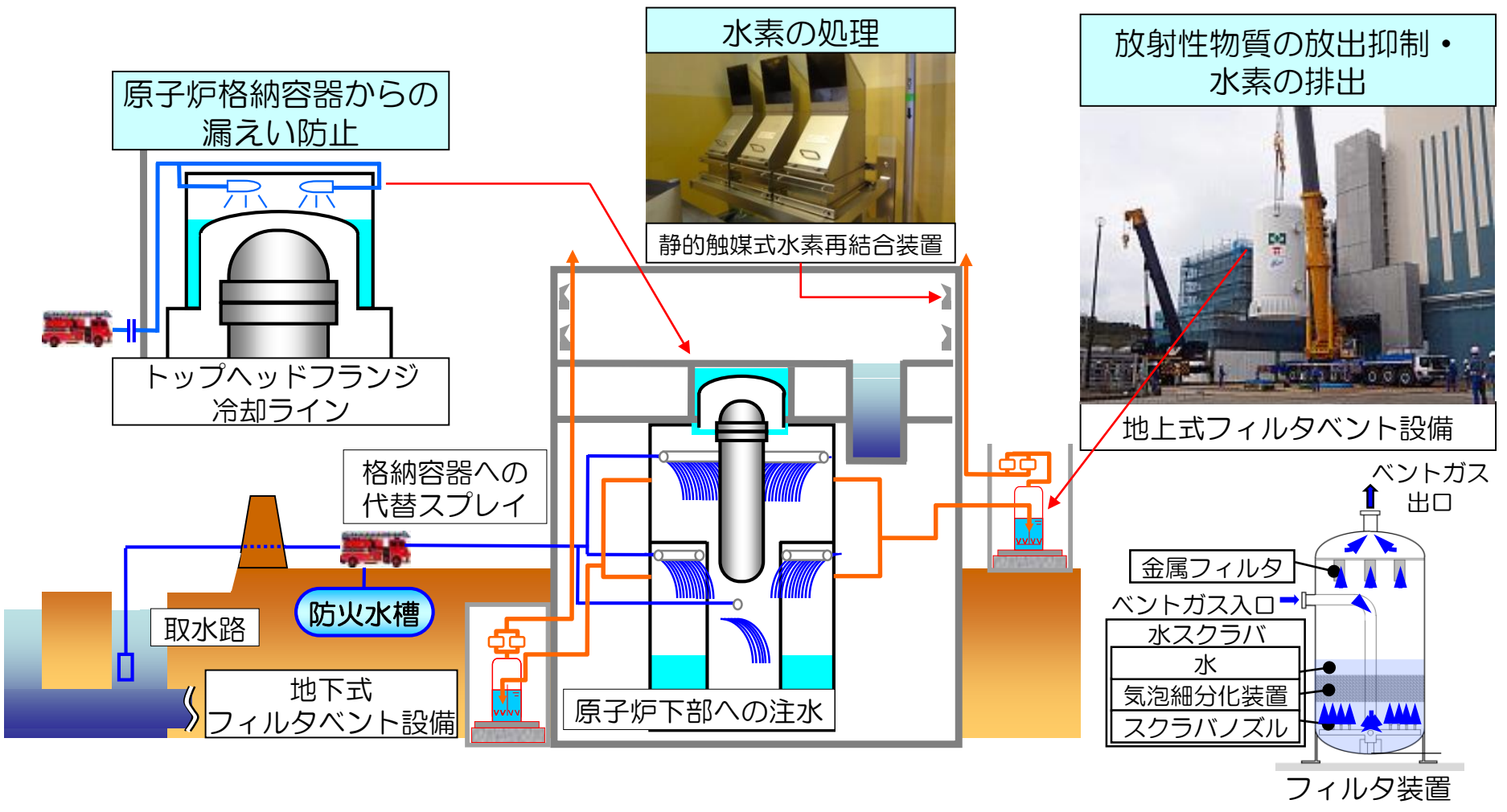
予備水源の増強



淡水貯水池設置

重大事故への備え (2/2)

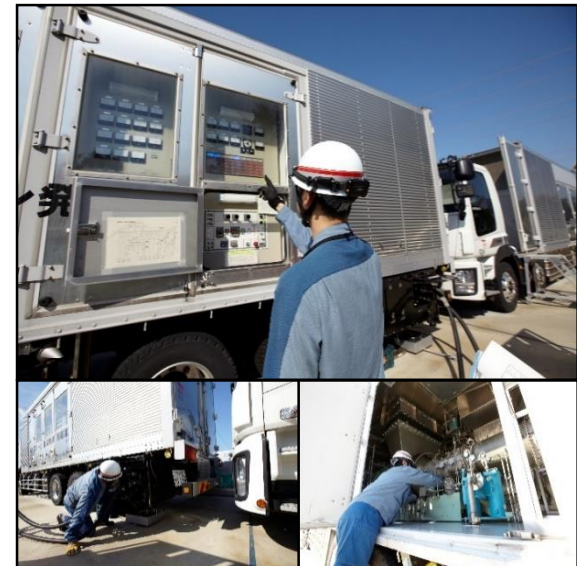
- 炉心が損傷した場合に備え、影響緩和の手段を強化しています
- フィルタバント設備はその中のひとつとして設置しており、**粒子状放射性物質（福島での土壌汚染の主原因はセシウム-137）を99.9%以上除去します**



格納容器ベント実施時期の延伸による希ガス放出低減

■ 訓練による力量向上や運用面の改善で、格納容器ベントに至る時間を伸ばしました

- ガスタービン発電機をより速やかに使えるようにして、原子炉へ早期に注水
- 貯水池からの水補給を強化し、格納容器を冷やす水の枯渇を防止



ガスタービン発電機起動訓練の様子



- 格納容器ベント実施時期の延伸：約25時間 → 約38時間
(①ケース) (基本ケース)

⇒これによって希ガスの減衰がさらに進み、放出量が低減される

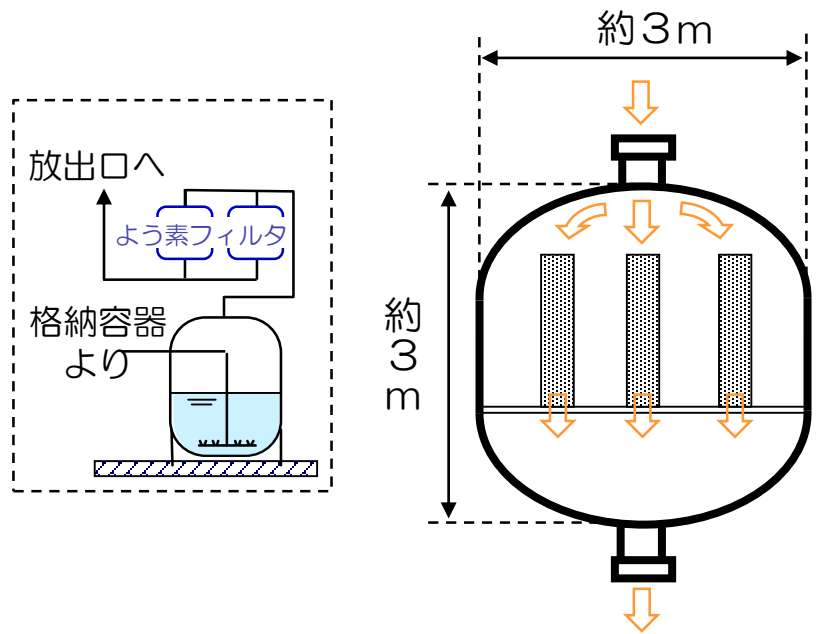
格納容器ベント実施時の影響軽減対策

■ アルカリ制御及びよう素フィルタの設置により、格納容器ベント実施時のよう素を低減します

よう素フィルタ

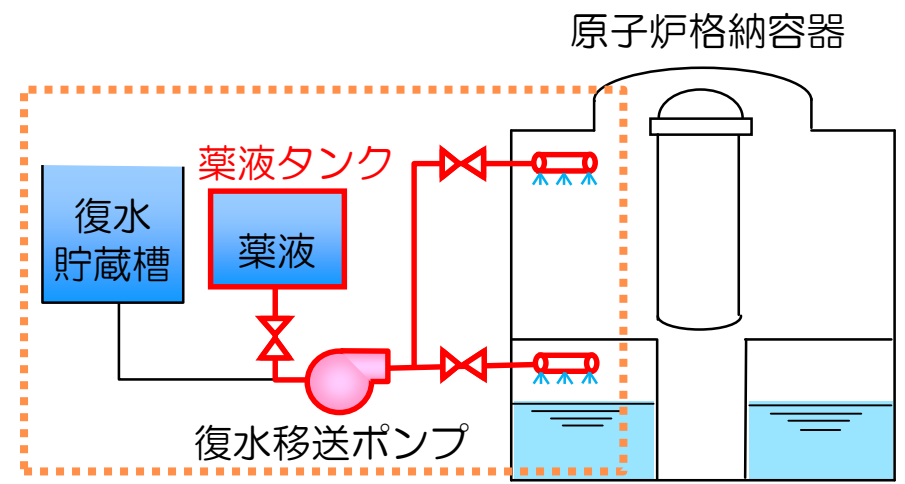
フィルタ装置通過後の気体状よう素（有機よう素）を98%以上除去

ガスの流れ



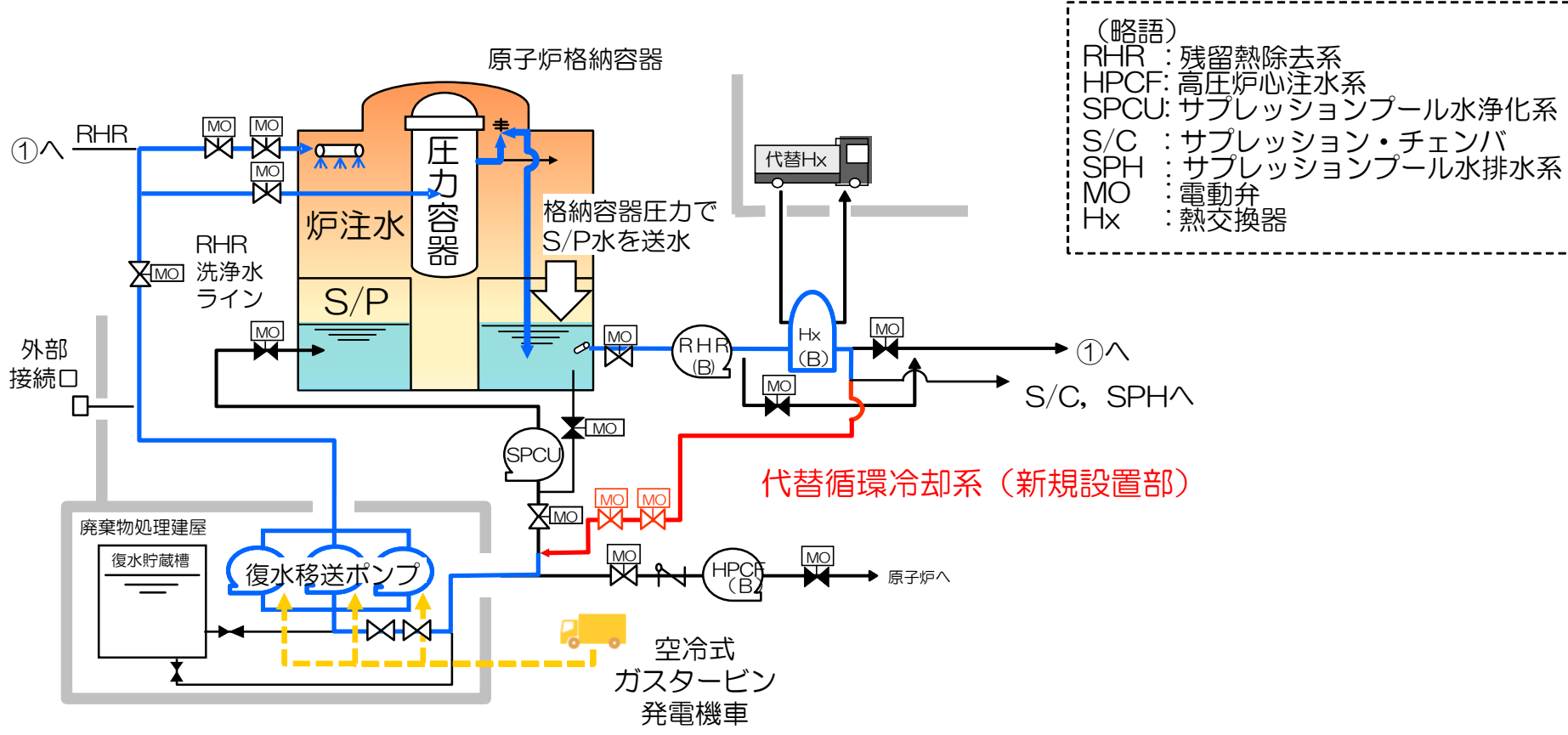
格納容器内のpH制御

格納容器内の水をアルカリ性にすることで、気体状よう素の生成量を抑え、よう素の放出量を低減



格納容器ベント回避による放射性物質の放出量低減(代替循環冷却)

■ サプレッションプール水を循環させ除熱をできるライン（代替循環冷却系）を設置し、格納容器圧力の上昇を抑制することで、**格納容器ベントを回避できる**ようにします



- (略語)
- RHR : 残留熱除去系
 - HPCF: 高圧炉心注水系
 - SPCU: サプレッションプール水浄化系
 - S/C : サプレッション・チェンバ
 - SPH : サプレッションプール水排水系
 - MO : 電動弁
 - Hx : 熱交換器