

2023年度(第2回)

# 2023年度 第三者検証委員会 対応方針について

## 【第1回検証委員会への質問対応等】

2023年10月25日  
日本原子力発電株式会社

1. 設定した事故の説明性について
2. 事故条件(ソースターム設定)の不確かさについて
3. 気象条件に係る課題と対応方針

# 1. 設定した事故の説明性について

# 1. 設定した事故の説明性について

## <はじめに>

- 2022年12月に提出した報告書のシミュレーションⅡでは、**幅広い層に厳しい事故条件であることが伝わるよう**、「福島第一原子力発電所事故時の事故進展も参考に、追加の安全対策を含む常設の安全対策設備が一斉に機能喪失する事故」を設定した。
- 設定した事故では、安全対策の強化に関わらず、事象発生直後より原子炉注水機能が喪失する設定とするなど、**全交流電源喪失や注水機能喪失に関する事故シーケンスを網羅しているが、更なる説明性の向上が求められている状況。**
- これに対して、今回評価においては、**1)放出量や格納容器破損時間(事象進展の早さ)が事故シーケンス選定上の着眼点とはならないこと**、また**2)安全対策を考慮した場合の炉心損傷頻度は十分に低い水準にあり、頻度の観点での選定が困難な**ことをご説明してきたところ。
- 第1回検証委員会では、**例えば国の審査における有効性評価の事故シーケンス選定のプロセス等、既存の評価を活用してはどうか**という旨のコメントいただいた。

→国の審査において、格納容器破損防止対策の有効性評価に用いた事故シーケンスの選定プロセスを踏まえ、LOCAを起因とする事故条件検討の位置付けを整理した

# 1. 設定した事故の説明性について

＜国の審査において格納容器破損防止対策の有効性評価に用いた事故シーケンス＞

- 格納容器破損防止対策の有効性評価においては、**体系的・網羅的な検討を行い、操作の時間余裕(事象進展の早さ)や設備容量の厳しさ**の観点から格納容器破損モードごとに事故シーケンスを選定している。(別紙)
- 実際に、有効性評価に用いた事故シーケンスは以下の2つとなる。
  - ①大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
  - ②過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗／原子炉減圧失敗

別紙のプロセスで選定した

評価に用いる事故シーケンスの選定結果(格納容器破損モードごと)

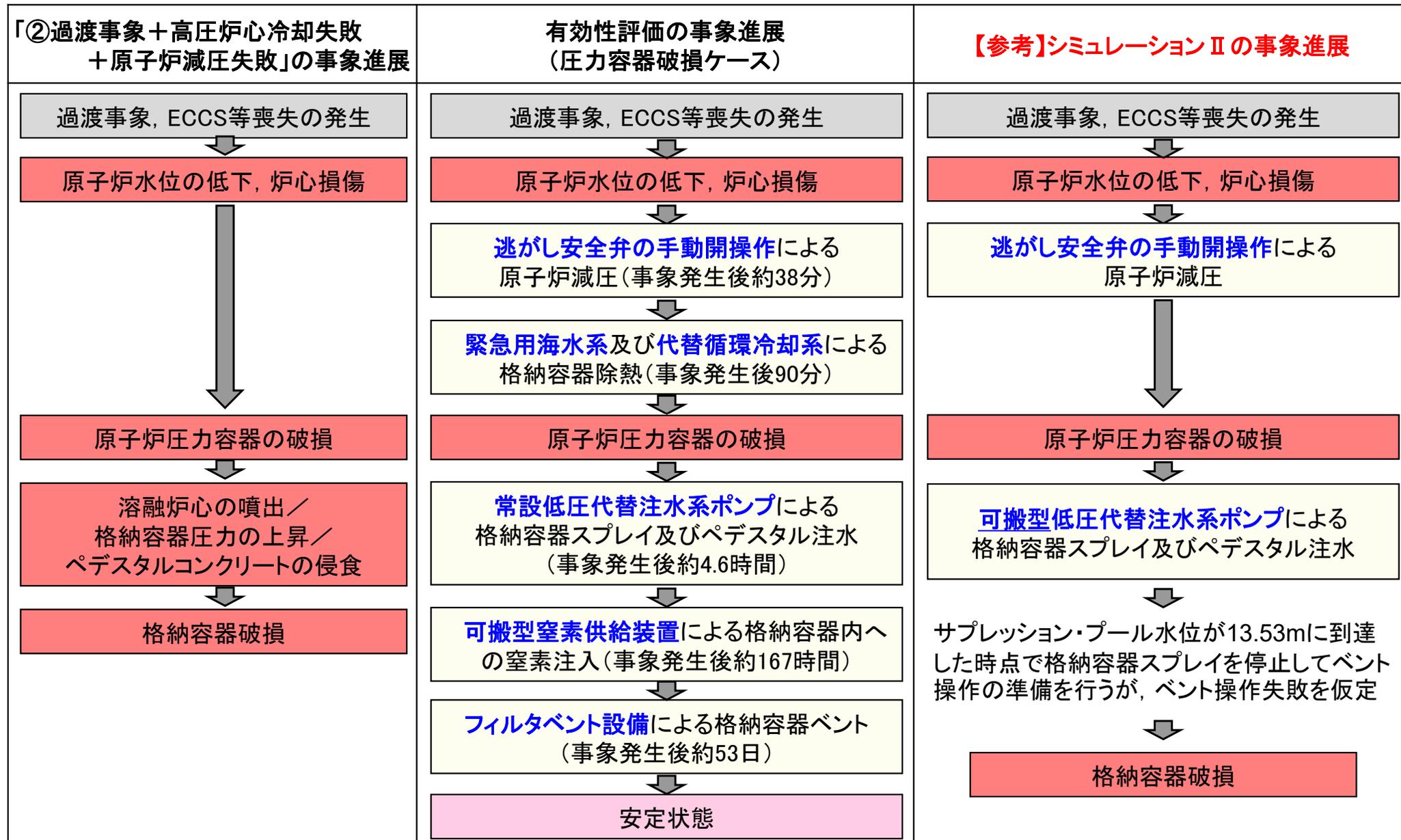
| 格納容器破損モード                  | 主な安全対策                      | 評価に用いる事故シーケンス                  |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷(過圧・過温破損)   | 代替循環冷却系<br>フィルタベント          | ①大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗<br>＋低圧炉心冷却失敗 |
| 水素燃焼                       | 窒素置換による格納容器雰囲気の不活性化         |                                |
| 格納容器直接加熱(DCH)              | 原子炉手動減圧                     | ②過渡事象＋高圧炉心冷却失敗<br>＋原子炉減圧失敗※    |
| 原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用(FCI) | ペDESTAL内の水位を1m以下に維持         | ②過渡事象＋高圧炉心冷却失敗                 |
| コア・コンクリート反応(MCCI)          | コリウムシールド設置<br>格納容器下部注水系(常設) | ＋低圧炉心冷却失敗※                     |

※低圧の注水手段が確保できない場合でも、原子炉水位が燃料有効長底部から燃料有効長の20%上の位置に到達した時点で逃がし安全弁(自動減圧機能)の手動開操作によって原子炉を減圧する手順としており、どちらの事故シーケンスも同様の事象進展となる。

# 1. 設定した事故の説明性について

「②過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗／原子炉減圧失敗」を用いた有効性評価の事象進展

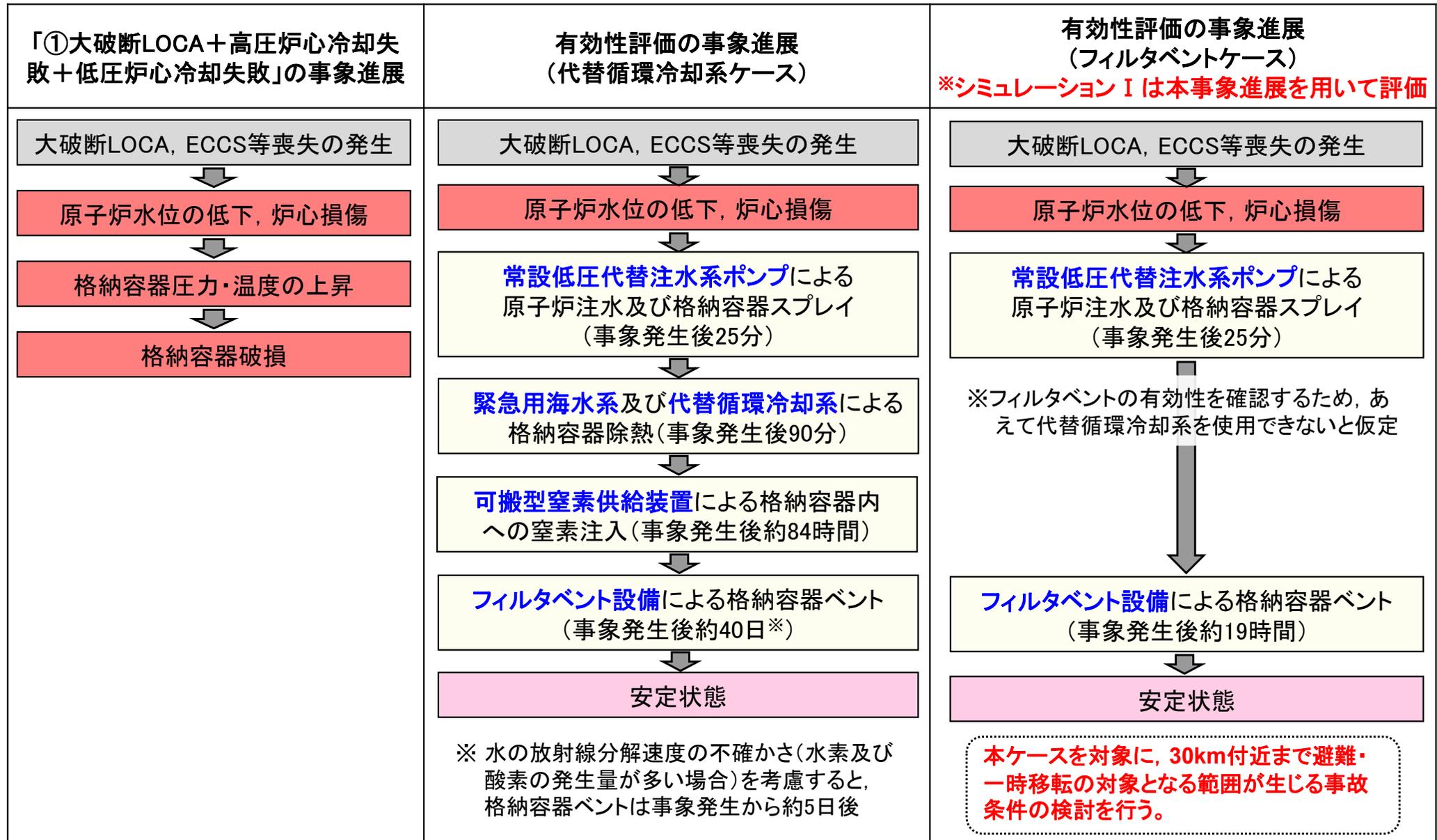
シミュレーションⅡの事象進展は、有効性評価の事象進展から更に複数設備が機能喪失した設定



# 1. 設定した事故の説明性について

## 「①大破断LOCA+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗」を用いた有効性評価の事象進展

シミュレーション I は、有効性評価のうち、Cs-137放出量が最も多いフィルタベントケースの事象進展



## 1. 設定した事故の説明性について

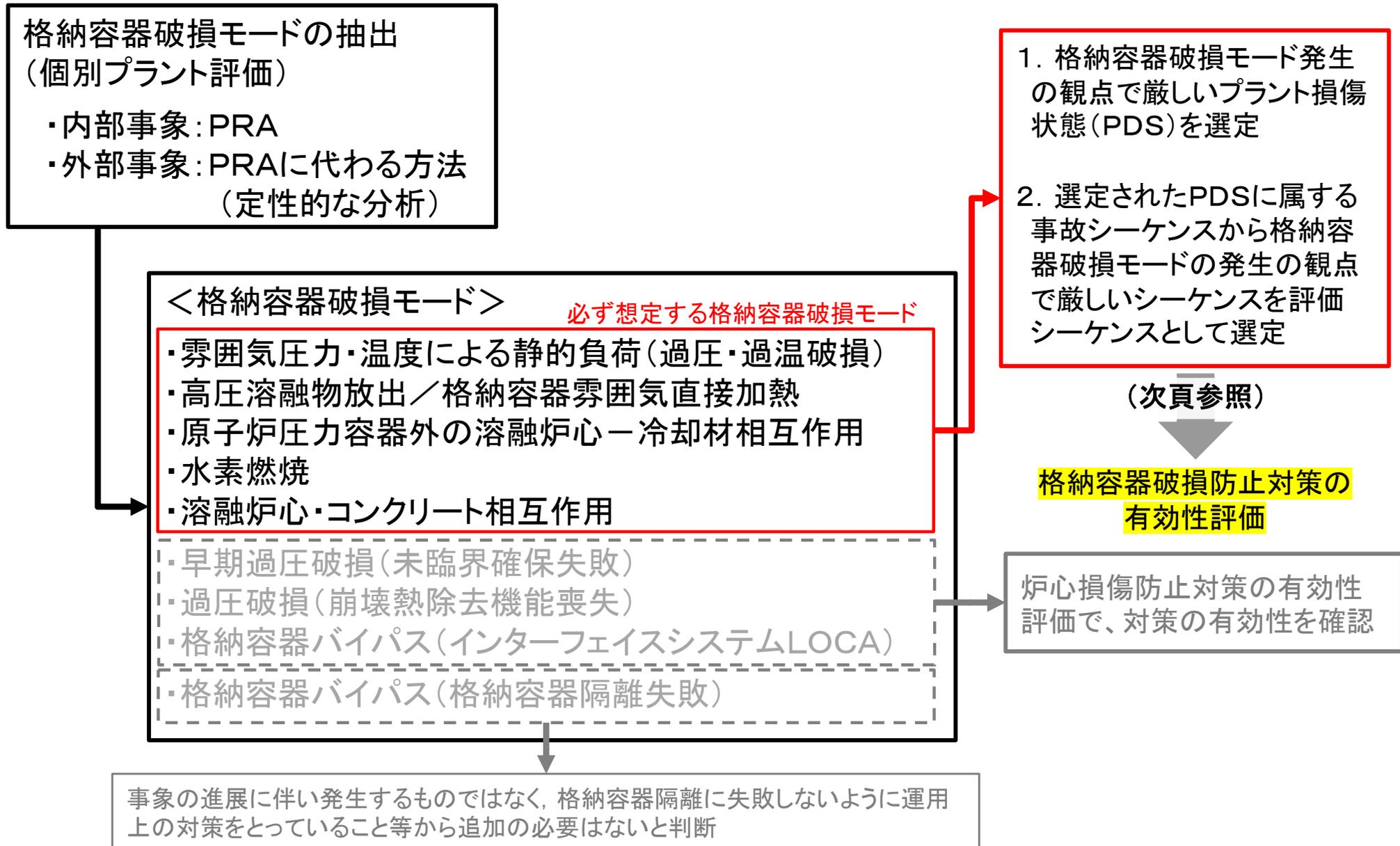
### <まとめ>

- 国の審査では、体系的・網羅的な整理を実施した上で、格納容器破損モードごとの特徴も考慮し、時間余裕や設備容量の観点から厳しくなる2つの事故シーケンスに対して格納容器破損防止対策が有効であることを確認している。
  - ①大破断LOCA＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗
  - ②過渡事象＋高圧炉心冷却失敗＋低圧炉心冷却失敗／原子炉減圧失敗
- シミュレーションⅡの事故条件は、上記②を用いた有効性評価の事象進展から、更に複数の緩和設備に期待しない設定となっている。
- 今後、上記①を用いた有効性評価の事象進展から30km付近まで避難・一時移転の範囲が生じ得る事故条件を検討する。

# (別紙)有効性評価に用いる事故シーケンスの選定プロセス

## 国の審査における格納容器破損防止の有効性評価に用いる事故シーケンスの選定

### ①格納容器破損モードの抽出及び評価事故シーケンス選定の全体プロセス



# (別紙)有効性評価に用いる事故シーケンスの選定プロセス

## 国の審査における格納容器破損防止の有効性評価に用いる事故シーケンスの選定

### ②代表的な事故シーケンスの選定

- 各格納容器破損モードに至る事故シーケンスの中から、以下の観点で**最も厳しい(包絡的な)事象となる事故シーケンス**を選定
  - 対策の実施に対する**時間余裕の短かさ(=事象進展の早さ)**
    - …事象発生後早期に対応する必要があり、対応操作が輻輳し必要な要員数が多くなる
  - 格納容器破損防止に**必要な設備容量(ポンプ流量や逃がし弁容量等)の大きさ**
    - …格納容器破損の防止に対して、より性能の高い設備対策が求められる
- 選定された事故シーケンスについて格納容器破損防止対策の有効性を評価することで、同一格納容器破損モード内の**他の事故シーケンスについても網羅的に有効性を確認**することができる。

時間余裕, 設備容量の厳しさが着眼点

評価対象とするPDS選定の考え方(例)

| 格納容器破損モード           | PDS  | 格納容器破損頻度 | 寄与割合 (%) | 評価対象とするPDS選定の考え方  |
|---------------------|------|----------|----------|---|
| 雰囲気圧力・温度による静的負荷(過圧) | TQUV | —        | —        | <b>【事象進展(過圧・過温)緩和の時間余裕及び設備容量の厳しさ】</b><br>・LOCAは原子炉冷却材の流出を伴うことから水位低下が早く、事象進展の観点で厳しい。また、格納容器圧力が高く推移すること等、環境に放出される放射性物質量の観点でも厳しい事故シーケンスとなると考えられる。<br>・対策の観点では、過圧破損に対しては格納容器の除熱が、過温破損に対しては損傷炉心への注水が必要となる。<br><br>以上の観点を総合的に考慮し、本格納容器破損モードを <b>代表するPDSとしてLOCAを選定</b> する。これに全交流動力電源喪失を重畳させることで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。 |
|                     | TQUX | 2.2E-09  | 100.0    |   |
|                     | 長期TB | —        | —        |   |
|                     | TBU  | —        | —        |   |
|                     | TBP  | —        | —        |   |
|                     | TBD  | —        | —        |   |
|                     | LOCA | —        | —        |   |
| 高圧熔融物／格納容器雰囲気直接加熱   | TQUX | 2.4E-11  | 0.3      | <b>【事象進展(過圧・過温)緩和の時間余裕及び設備容量の厳しさ】</b><br>・長期TBは炉心損傷に至る前にRCICに成功しており、時間余裕の観点でTQUX, TBD, TBUの方が厳しい。TQUX, TBD, TBUにPDS選定上の有意な違いはない。<br><br>以上より、本格納容器破損モードを <b>代表するPDSとしてTQUXを選定</b> する。また、このPDSに全交流動力電源喪失を重畳させることで、電源の復旧、注水機能の確保等の格納容器破損防止対策を講じるための対応時間が厳しいシナリオとする。   |
|                     | 長期TB | 8.5E-09  | 99.5     |   |
|                     | TBU  | 1.6E-11  | 0.2      |   |
|                     | TBD  | 2.2E-14  | <0.1     |   |

PRA結果はSA対策なしの値(国審査で提示)

## 2. 事故条件の不確かさについて

## 2. 事故条件(ソースターム設定)の不確かさについて

### <はじめに>

- これまでの第三者検証委員会において、**MAAP解析の前提とする事故条件によって核種ごとの放出割合が異なるが、今回評価では、その影響は軽微**であることをご説明してきたところ。(事故条件そのものに対する不確かさは軽微)
- 一方、第1回検証委員会において、**放出継続時間に関するコメント**があったことから、これに対応するために実施した**感度解析の結果**をご説明する。
- また、原子力学会のレベル3PRA標準に記載されたソースターム関連の項目について、今回評価における取扱いを整理した。

### 【補足】

- シミュレーションⅡに用いたソースタームは、以下のように保守的な設定としている。  
(2022年度の第1回検証委員会において説明)
  - 評価内容は放出開始から24時間後の空間線量率であるが、MAAP解析では事故発生から7日間積算の放出量としている。
  - 今回評価では7日間積算の放出量が4時間※で放出される想定としている。

※防護措置を広く評価する観点からは放出継続時間が短い方が保守的になると考え、MAAP解析結果を基に設定。

## 2. 事故条件(ソースターム設定)の不確かさについて

### <放出継続時間に関する感度解析>

- ・シミュレーションⅡでは、遠方まで20 $\mu$ Sv/hを超える空間線量率を発生させる観点から、放出時点でのプルーム濃度が濃くなるよう、MAAP解析を基に放出継続時間を短い側に設定
- ・一方、放出継続時間を僅かに長く設定した場合、気象条件によっては防護措置範囲が広がる可能性があることから、放出継続時間を6～10時間とした場合の感度解析を実施した。
- ・感度解析の結果、シミュレーションⅡが防護措置範囲を広く評価していること、また他の感度解析結果も概ね同程度の値となっていることを確認した。

### 放出継続時間を変化させた場合の防護措置範囲への影響について

| 放出継続時間 | 4h<br>(シミュレーションⅡ) | 6h<br>(感度解析①) | 8h<br>(感度解析①) | 10h<br>(感度解析③) |
|--------|-------------------|---------------|---------------|----------------|
| 常陸太田方面 | 38                | 35            | 32            | 31             |
| 水戸方面   | 31                | 29            | 30            | 30             |

※数字はR-Cubic上で沈着核種からの空間線量率が20 $\mu$ Sv/hを超えるセルの個数(UPZ内陸側)

### 【考察】

- ・放出継続時間を長く設定した場合、放出時点のプルーム濃度が薄くなり、シミュレーションⅡで20 $\mu$ Sv/hを僅かに超えていたセルの一部が20 $\mu$ Sv/h未満になったものと考えられる。

## 2. 事故条件(ソースターム設定)の不確かさについて

- 原子力学会のレベル3PRA標準に記載されたソースターム関連の項目について、今回評価における取扱いを整理した。

| 項目         | 今回評価における取扱い   |
|------------|---|
| 複数回の放出     | 今回評価では、格納容器破損前の漏えい分と格納容器破損後の放出分があるが、両者を合算した方が保守的な評価となるため、単一放出を仮定している。   |
| 放出高さ       | 今回評価では、地上放出と建屋放出が考えられるが、地表沈着量を保守的に評価する観点から地上放出を仮定している。建屋放出を想定した場合には遠方まで飛散しやすくなる一方、プルーム濃度が薄くなり、放出継続時間の感度解析で確認したように防護措置範囲は小さくなると考えられる。                            |
| プルームライズ    | R-Cubicでは、一般に放出高さが高くなると濃度・線量を過小評価することから移流拡散中のプルームライズは考慮しないこととされている。   |
| エアロゾルの粒径分布 | R-Cubicでは、エアロゾル粒径分布の入力はなく、乾性沈着速度は $0.5\sim 5\mu\text{m}$ の粒径に対して検討された $0.3\text{cm/s}$ (NUREG/CR-4551)を使用している。<br>なお、シミュレーションⅡでは、降雨による湿性沈着がある気象条件②の結果が厳しくなっている。 |
| 放射性物質の化学形態 | 今回評価では、セシウムの放出量を算出する際に、CsIのセシウム放出量とCsOHのセシウム放出量を合算している。また、よう素に関しては、化学組成を考慮した取扱いとしており、放出量評価にあたっては地表沈着に寄与する無機よう素及び粒子状よう素の合算値を用いている。                               |

### 3. 気象条件に係る課題と対応方針

「2. 事故条件の不確かさについて」で示したように、要請の趣旨に沿った拡散シミュレーションをR-Cubicを用いて実施するうえでは、気象条件が不確かさの要因となると考えられることから、対応について以下のとおり整理した。

#### 【課題】

【追加評価】評価に含まれる不確かさの大きさを把握するための変動幅の算出

##### 【追加評価①】

- R-Cubicの評価結果の不確かさ
  - 事故条件の不確かさは軽微(放出継続時間による感度解析)
  - 主な要因として気象条件の選び方

##### 【追加評価②】

- コードのもつ不確かさ
  - SPEEDI/WSPEEDIとのベンチマーク

#### 【再評価】

- 大気安定度を考慮した気象条件の評価
  - 安定型を実気象から抽出(前年度第3回)

#### 【対応方針】

- 防護措置範囲の年間の平均的な分布との比較
- ランダムサンプリング  
⇒ 気象条件による変動幅を確認できるとともに、拡散シミュレーションを対外的に説明する際に活用できる。

- 現状, 委員会預かり
- 対象とするコードの選定
- 評価条件等

##### 現状

- 実気象から大気安定度を考慮した気象条件の抽出した評価を実施

課題: 気象の継続時間が短い

##### 提案

- 気象条件①②をベースケースとした大気安定度の感度

# 【追加評価①】 R-Cubicの評価結果の不確かさ

## ランダムサンプリングの概要

- ・2020年度の日時(8760時間)から放出開始時点の日時をランダムに設定した上で、その後、7日間分の気象データ(風向, 風速, 降雨率, 大気安定度)をサンプリングする。 ※サンプルサイズは100を想定
- ・サンプリングした気象データを用いて、UPZ(陸側)における防護措置範囲の地点数を算出する。

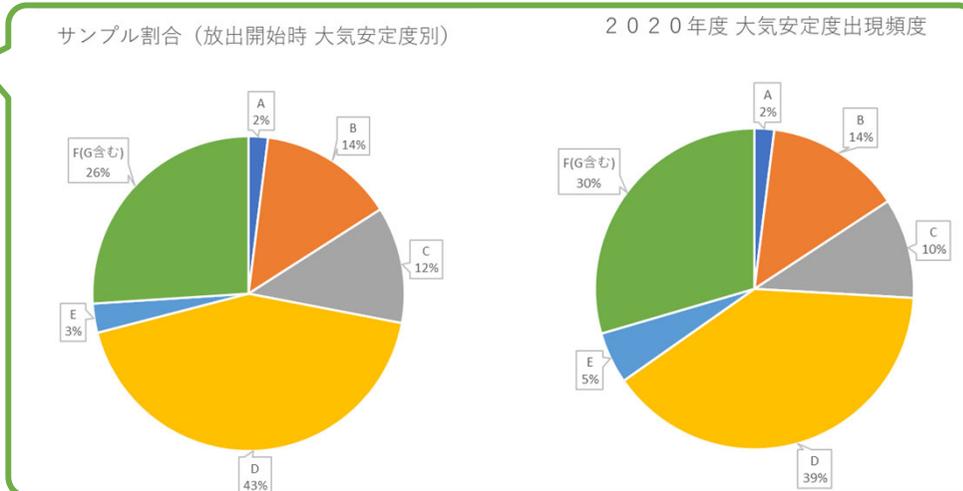
※「避難・一時移転を行う際に必要な資機材数等の確認」が評価の目的であることから、UPZ内(陸側)を対象とした。

## 気象条件の抽出結果

抽出した気象データ(100個)の傾向と、2020年度の年間の統計を比較し、大きな隔離がないことを確認した

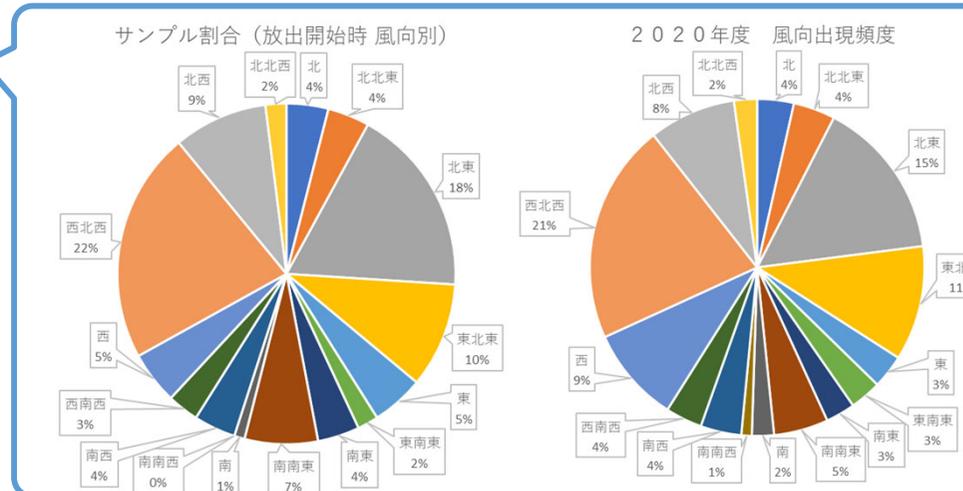
| 昼夜別 | サンプル割合 |
|-----|--------|
| 昼間  | 47     |
| 夜間  | 53     |

| 大気安定度 | サンプル割合 | 2020年度 [%] |
|-------|--------|------------|
| 安定型   | 29     | 35         |
| 不安定型  | 28     | 26         |



| 降雨 | サンプル割合 | 2020年度 [時間] |
|----|--------|-------------|
| なし | 93     | 8154        |
| あり | 7      | 606         |

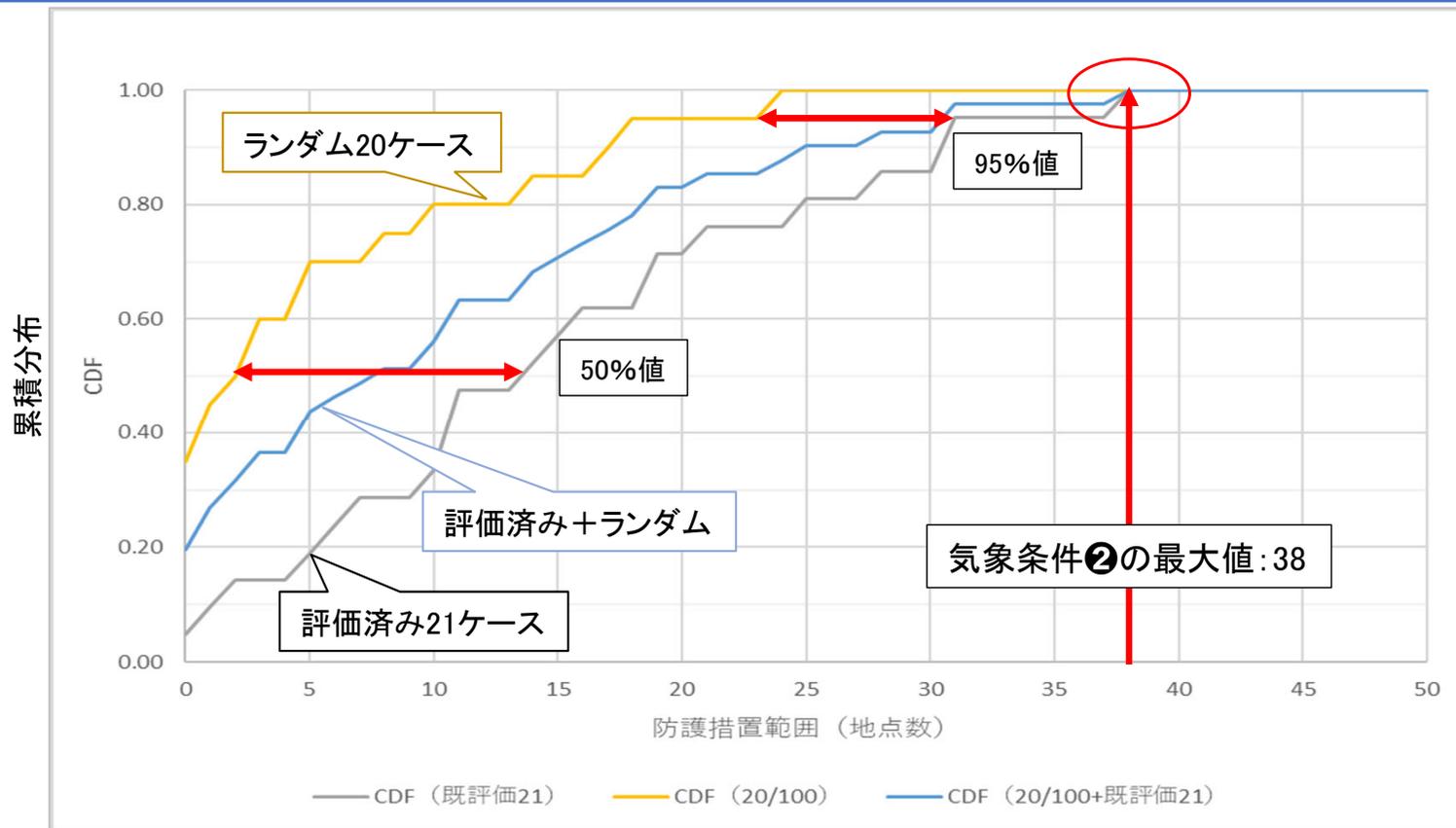
約 6.9%



抽出した100ケースは年間の統計と比較し大きな乖離は無かった。

| 風向方面 陸側3方位毎 | サンプル割合 | 2020年度 [%] |
|-------------|--------|------------|
| 日立          | 8      | 9          |
| 常陸太田        | 13     | 11         |
| 那珂          | 17     | 17         |
| 水戸          | 32     | 30         |
| 大洗          | 10     | 10         |

評価済みの気象条件①②③(大気安定度EFの結果含む21ケース)と、ランダムに抽出した100ケースのうち20ケースによる結果(防護措置範囲の陸側UPZの地点数)を、累積分布として示す。



- ランダムサンプリングの結果による累積分布は、気象条件①②③(大気安定度EFの結果含む21ケース)に比べ、左側に描かれる。  
⇒ 気象条件①②③や大気安定度を考慮した評価は、より防護措置範囲が大きくなる厳しい評価となっている。
- 今後
  - 残りのケースについても評価を追加し傾向を確認
  - 評価結果の整理方法の確認(例: 50%値または95%値の差分等)

## 【再評価】 大気安定度も考慮した気象条件を設定した再評価

## 再評価の実施方針

気象条件①②の評価期間において、大気安定度はD型が主であったことから、既評価については中立の安定度による評価を実施できたものとする。

大気安定度を考慮した気象条件の設定方法を以下に示す。

### a) 実気象における大気安定度を考慮した気象条件の抽出

【手法】年間気象データから大気安定度も含む条件で抽出し、実気象データによる拡散評価を追加する。

- 昨年度提示した安定型の実気象条件と同様の方法で、不安定型の評価を行い結果を整理する。
- 各方面の気象条件①②及び③と大気安定度の継続時間が最も長くなる日時を放出開始とした評価。
- 条件の重ね合わせを繰り返すため、年間における発生頻度、条件の継続時間が小さくなる傾向。  
⇒抽出状況を次頁に示す
- 安定型(E,F)を条件とした結果を提示済み。

a) 実気象における大気安定度を考慮した気象条件の抽出

・ 気象条件①②と大気安定度の継続を条件とした気象条件の抽出状況

| 気象条件  | 日立方面       | 常陸太田方面                 | 那珂方面       | 水戸方面       | 大洗方面       |
|-------|------------|------------------------|------------|------------|------------|
| ①+ABC | 1回         | 1回                     | 1回         | 1回         | 1回         |
| 継続時間  | 9時間        | 10時間<br>(11時間は那珂方面と重複) | 11時間       | 11時間       | 6時間        |
| ①+EF  | 1回         | 1回                     | 1回         | 1回         | 5回         |
| 継続時間  | 5時間        | 6時間                    | 8時間        | 7時間        | 5時間        |
| ②+ABC | 1回         | 5回<br>(内1回は日立方面と重複)    | 1回         | 1回         | 1回         |
| 継続時間  | <b>2時間</b> | <b>1時間</b>             | <b>2時間</b> | <b>3時間</b> | <b>2時間</b> |
| ②+EF  | 2回         | 1回                     | 3回         | 1回         | 1回         |
| 継続時間  | <b>1時間</b> | <b>1時間</b>             | <b>1時間</b> | <b>3時間</b> | <b>2時間</b> |

・ 気象条件②と大気安定度の重複期間は、放出継続時間(主な核種で～4時間)に対して短くなる傾向

→これらの気象に関しては、大気安定度の影響とは関係のない結果となる

## a) 実気象における大気安定度を考慮した気象条件の抽出

気象条件③と安定度の重複条件

| 気象条件  | 方面なし |
|-------|------|
| ③+ABC | 9回   |
| 継続時間  | 2時間  |
| ③+EF  | 2回   |
| 継続時間  | 1時間  |

大気安定度のみ, または陸側風向との重複条件(参考)

| 気象条件 | 安定度のみ | 陸側風向                   |
|------|-------|------------------------|
| ABC  | 2回    | 7回                     |
| 継続時間 | 12時間  | 11時間                   |
| EF   | 39回   | 1回                     |
| 継続時間 | 14時間  | 10時間<br>(11時間は水戸方面と重複) |

- 気象条件③と大気安定度の重複期間も短時間となる(左表)。
- 大気安定度のみで抽出した場合, 安定型の出現頻度が多数となったことから, 陸側風向との重複条件でも確認(右表)

- 本方針で評価を実施する場合
  - 隣接方面との重複等を確認のうえ採用ケースを選定
  - 防護措置範囲の地点数(陸側UPZ)を確認, 整理
  - 評価結果とりまとめ

## b) 感度解析による確認の提案

- 実気象からの抽出では、条件の継続時間が短くなる場合に風向の変化等により陸側の防護措置範囲が生じにくくなる。
- 気象条件①②をベースとした、大気安定度の感度解析による評価を提案する。  
大気安定度を
  - 安定型(F)
  - 不安定型(A)とした仮想条件で評価を実施する。
- 一部方面について、2022年度第3回で結果を提示済み(次頁)
- 委員会にて意見をうかがったうえで評価方針を決定

【追加評価①】はランダムサンプリングによる評価を想定しているが、シミュレーションⅡをベースに不確かさの変動幅を算出する方法として、以下の評価を行うことも一案となると考える。

- 厳しい気象条件における不確かさ  
30kmの範囲で防護措置範囲が最大となると見込まれる条件における不確かさを求める手法の検討

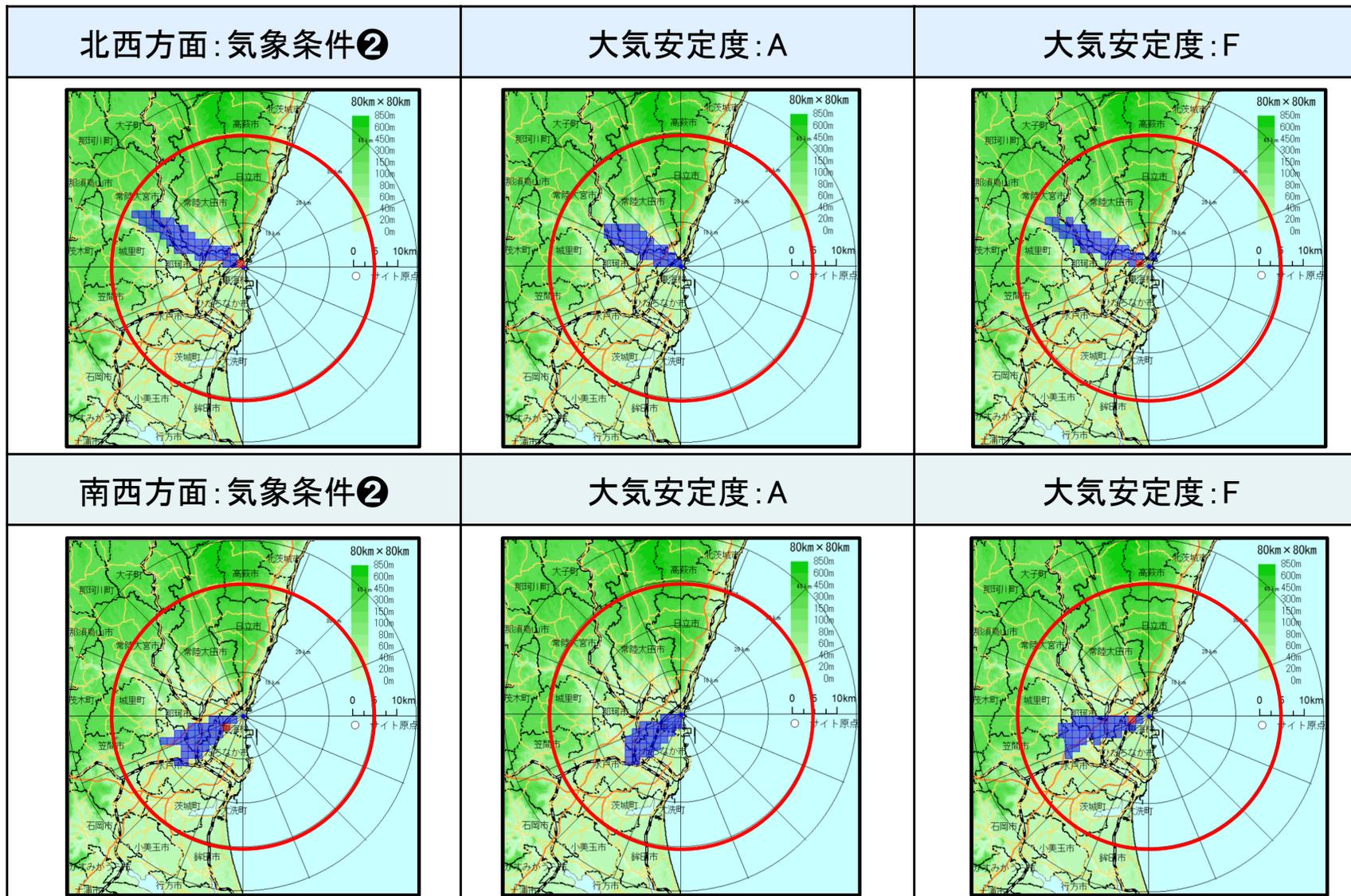
### 【手法案】

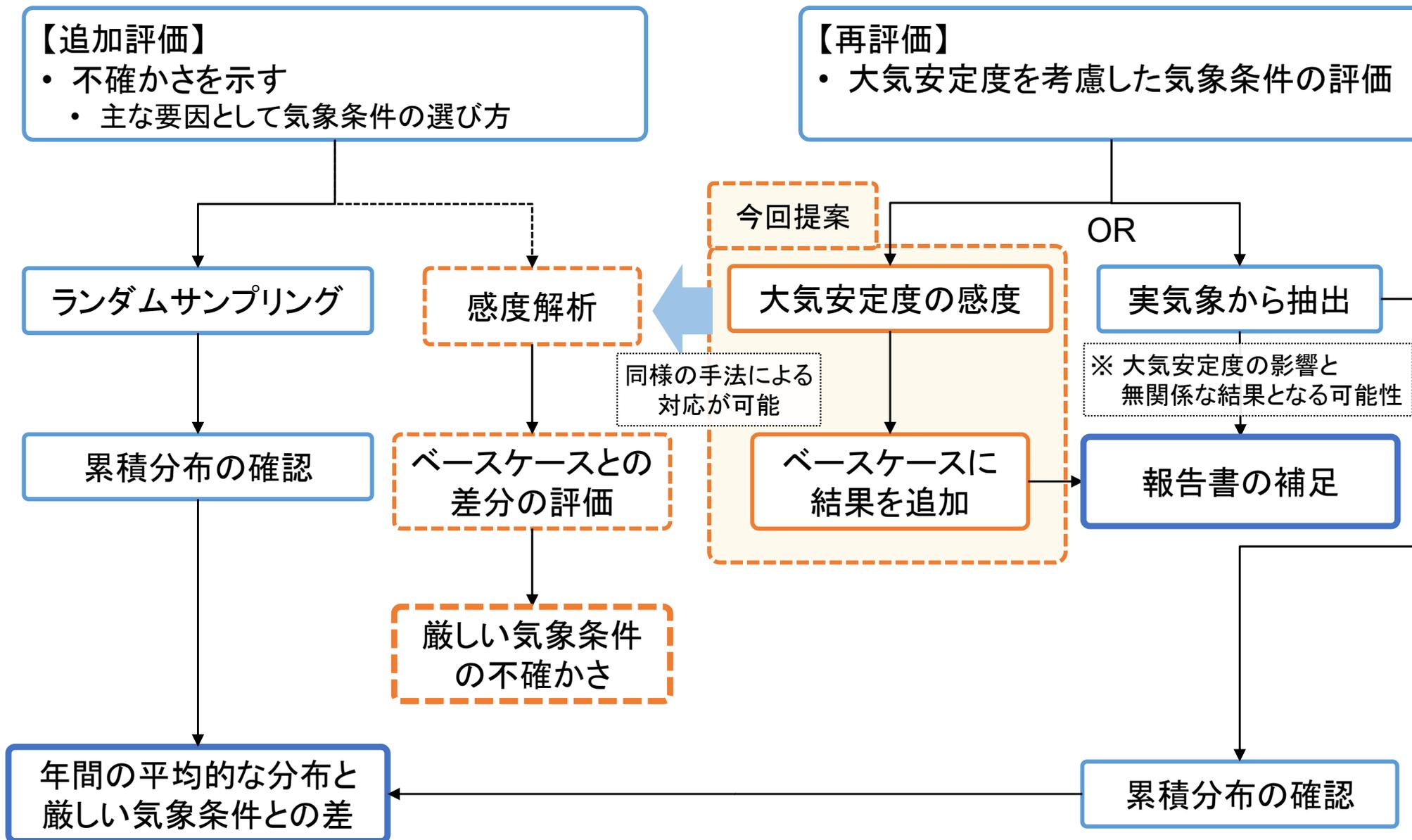
気象条件①②をベースケースとし、大気安定度に加えて、風速・降雨率等のパラメータを変更して防護措置範囲の拡がり方の変化を確認する。

- 大気安定度、風速、降雨率等のパラメータの感度解析により、陸側方位への拡散に主軸を置いた不確かさを確認可能と考える。
- 気象条件①②の評価期間において、大気安定度はD型が主であったことから、中立の安定度による評価については実施できたものとする。
- 大気安定度以外のパラメータ及び設定値は検討が必要。
  - 大気安定度以外のパラメータの検討(例)
    - 風速の大小:当該方面の平均風速の0.5倍, 3倍に設定…等
    - 降雨の大小:継続時間の変更, 降雨率の変更等
- 取りまとめ方法の検討

## b) 感度解析による確認の提案

- 大気安定度をA(不安定)またはF(安定)に固定した場合(2022年度第3回資料より)
  - 大気安定度は地上風速により定まるが、無条件で固定値とした。
  - その他の気象条件(風向, 風速, 降雨)は、実気象と同一とした。





※ 平均的な気象も含む累積分布の結果は、  
拡散シミュレーションを対外的に説明する際に活用できる