

事故炉における強度評価の考え方

2021年6月12日
廃炉検討委員会
強度基準検討分科会
主査 鈴木 俊一(東京大学)

1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
3. 強度評価の体系化の検討結果
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
5. 今後の予定

1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
3. 強度評価の体系化の検討結果
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
5. 今後の予定

はじめに

- 強度基準検討分科会では、**福島第一原子力発電所（1F）における強度評価の在り方について議論**している。

- **福島第一原子力発電所事故前からある設備（既存設備）**
 - 知見から劣化状況や評価モデル等を推定し、強度評価を実施
→アクセス困難なため、**設備状態が十分には把握されていない**
 - 設備の使用条件、要求機能は事故前後で大きく異なる
→**事故炉の条件を考慮した強度評価が必要**
- 通常炉とは異なる不確かさの大きさや要求機能を考慮した強度評価が必要である。
→**事故炉である1Fの強度評価の在り方の体系化（フロー）を検討**

- 本日は、**検討状況を報告**する。

1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
3. 強度評価の体系化の検討結果
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
5. 今後の予定

フロー検討の基本的考え方

- ①～④の考えをベースに、1F強度評価の在り方の体系化（フロー）を検討した。

① 事故炉においても、原子力安全（環境と人を放射線の有害な影響から防止）が求められることは変わらない。

→各設備が損壊した場合に**原子力安全に影響するのか評価が必要**

② 原子力安全を達成するためには、各設備に求められる要求機能が確保されているのか、確認が必要である。

→**1F設備に求められる要求機能の整理が必要**

→**要求機能が確保できている／いないと判断する考え方の検討が必要**

③ 地震等により要求機能が確保できない可能性がある」と想定される場合には、その対策が必要である。

→耐震強化等の発生防止対策が可能ならば、その対策が有効

→**発生防止対策が困難な箇所への対応の検討が必要**

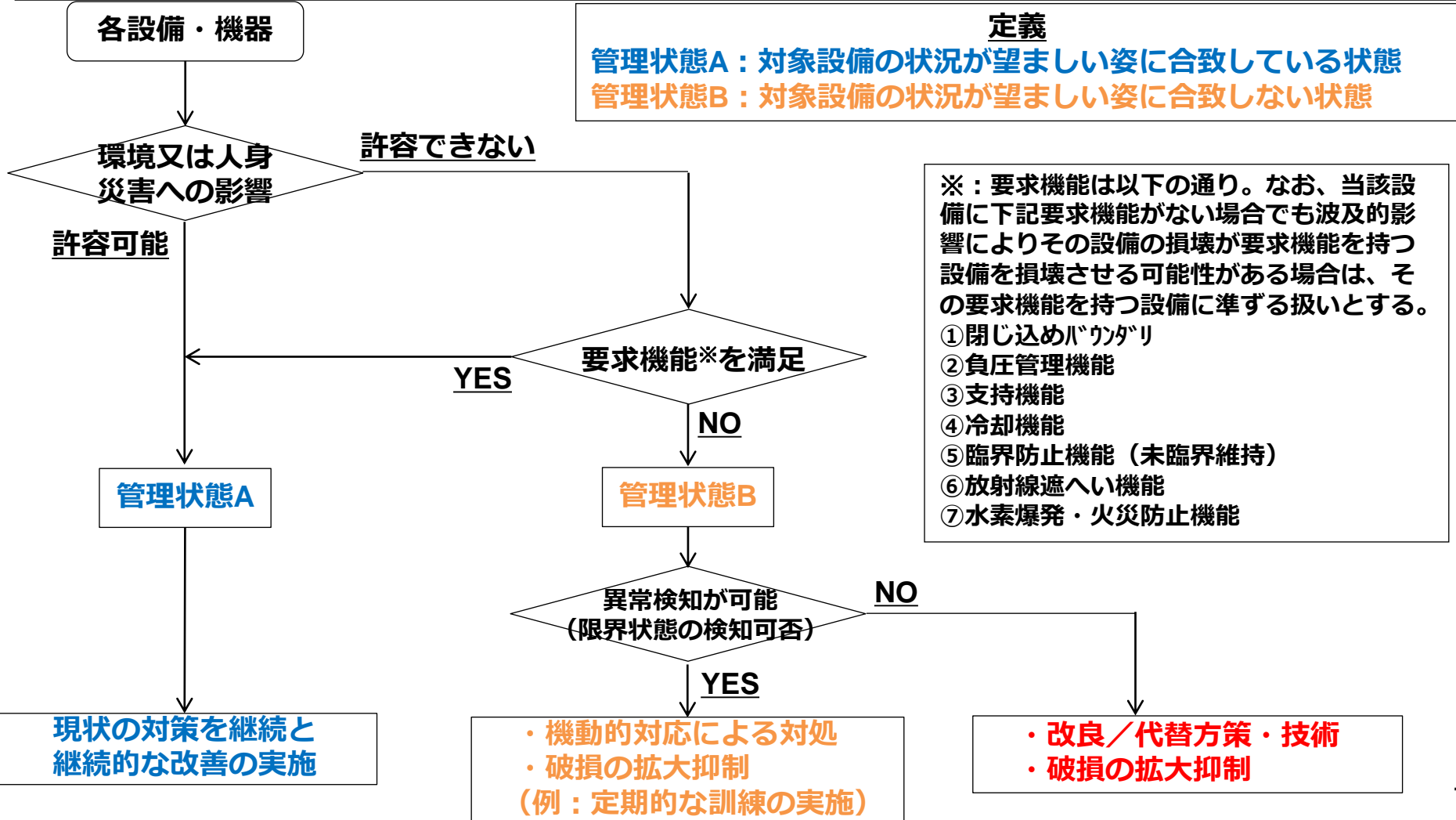
④ 1Fの設備状態は、廃炉作業の進捗とともに変化する。

→**継続的（設備状態変化毎）に評価し、対策を見直すことが、安全性向上には必須**

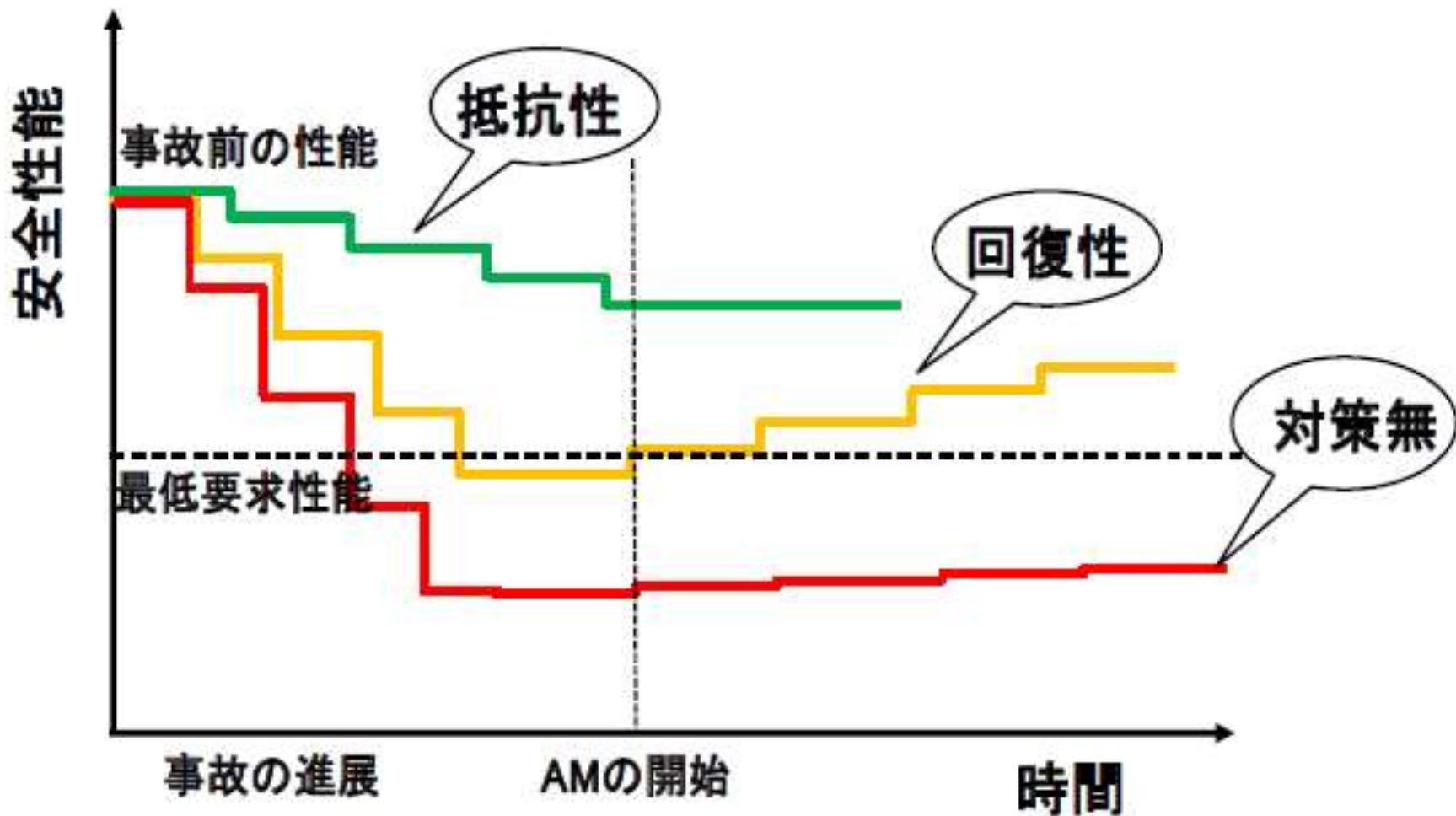
1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
- 3. 強度評価の体系化の検討結果**
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
5. 今後の予定

管理状態評価フロー

- **設備・機器の管理状態を評価し、その状態に応じた対策を要求する。**
- 設備状態の変化（PCV水抜き等）や廃炉作業の進捗に伴って検査・補修等が可能になる等、状態が変化した場合には再評価する。
→ **一旦評価すると終わりではなく、状況に対応して再評価する。**



(補足) レジリエンス

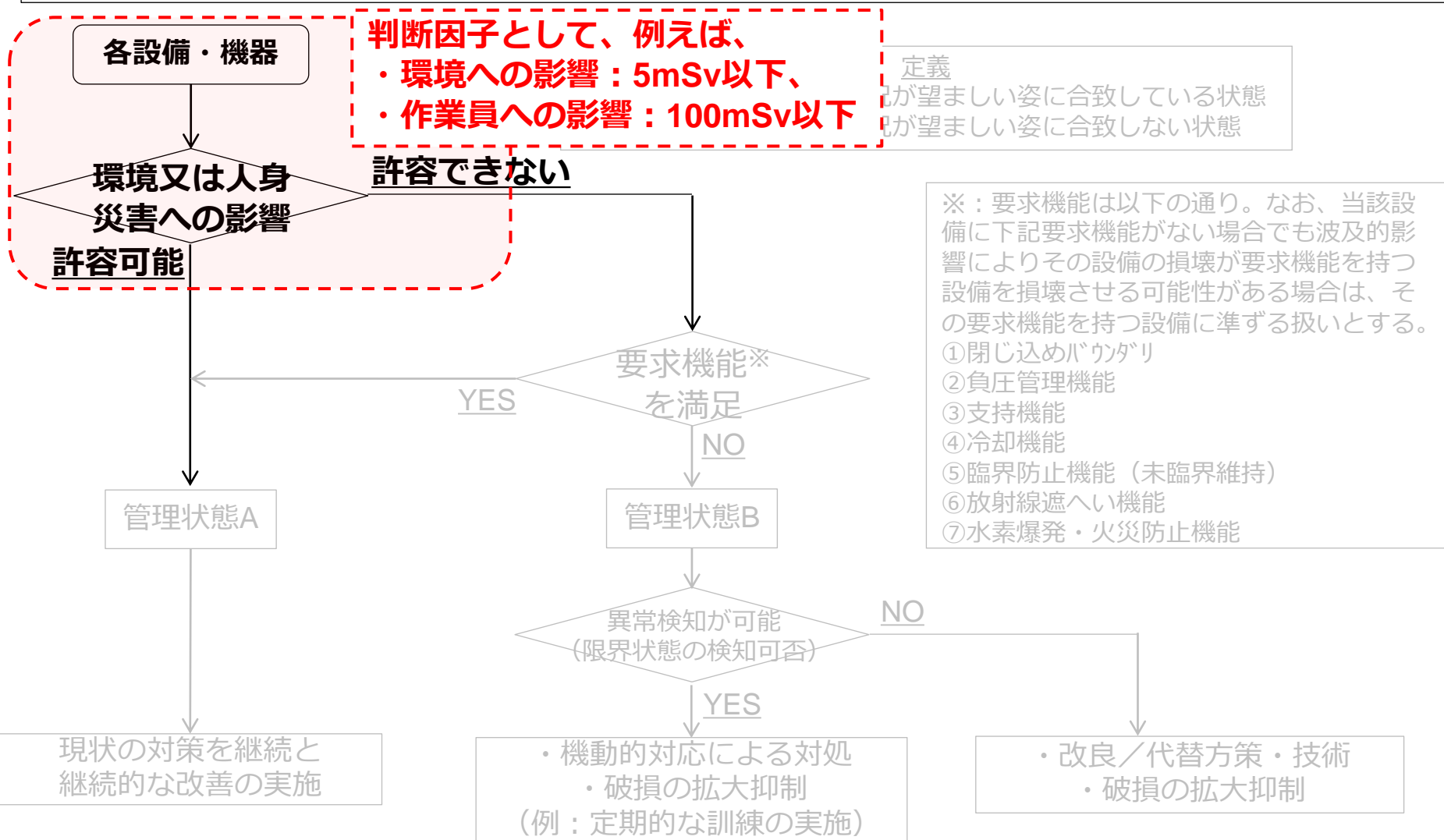


破損拡大抑制による安全性レジリエンス向上

Ref. 笠原他「原子炉構造レジリエンスを向上させる破損の拡大抑制技術の開発 (1)開発計画」日本原子力学会2021年春の大会

判断「環境又は人身災害への影響」について

- 初めに、評価のインプットとして、検査可能範囲等の設備状態を整理する。
- **本判断では、対象設備が原子力安全に影響を与えるのかを判断**する。
- **様々な判断因子（被ばく量、インベントリ量、多重性・多様性、Form Factor 等）**があり、今後具体化が必要である。

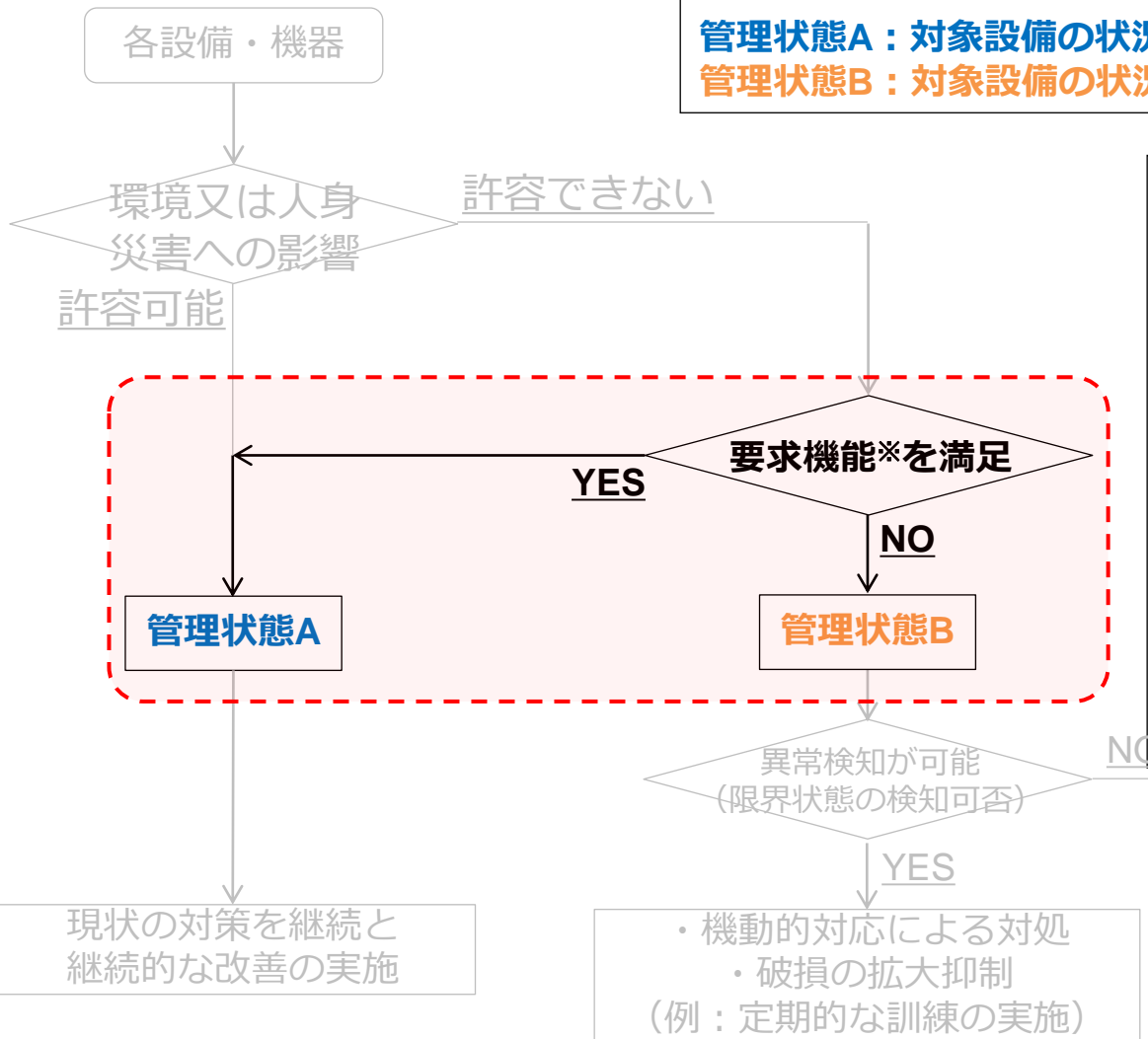


判断「要求機能を満足」について

- 本判断では、各設備に求められる要求機能を確保できているかを確認する。
- 次スライドのフローを用い、要求機能を満足しているかを判断する。
- 要求機能は、廃炉リスク評価分科会報告書を参考に7機能を記載。

定義

管理状態A：対象設備の状況が望ましい姿に合致している状態
管理状態B：対象設備の状況が望ましい姿に合致しない状態



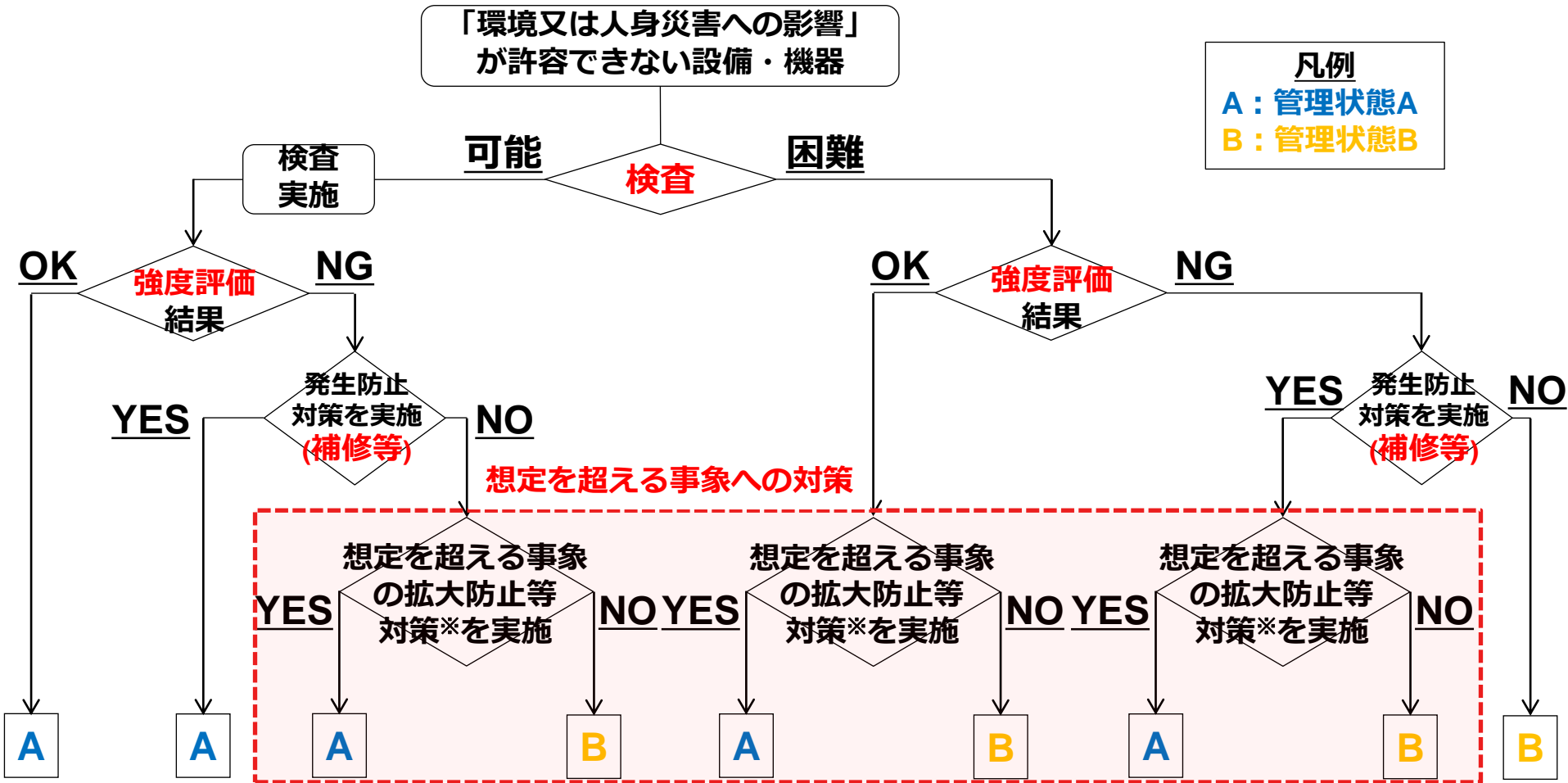
※：要求機能は以下の通り。なお、当該設備に下記要求機能がない場合でも波及的影響によりその設備の損壊が要求機能を持つ設備を損壊させる可能性がある場合は、その要求機能を持つ設備に準ずる扱いとする。

- ① 閉じ込めバウンダリ
- ② 負圧管理機能
- ③ 支持機能
- ④ 冷却機能
- ⑤ 臨界防止機能（未臨界維持）
- ⑥ 放射線遮へい機能
- ⑦ 水素爆発・火災防止機能

1Fの全設備に対して網羅的に要求機能を抽出した結果ではないことに注意

管理状態AとBの判断方法

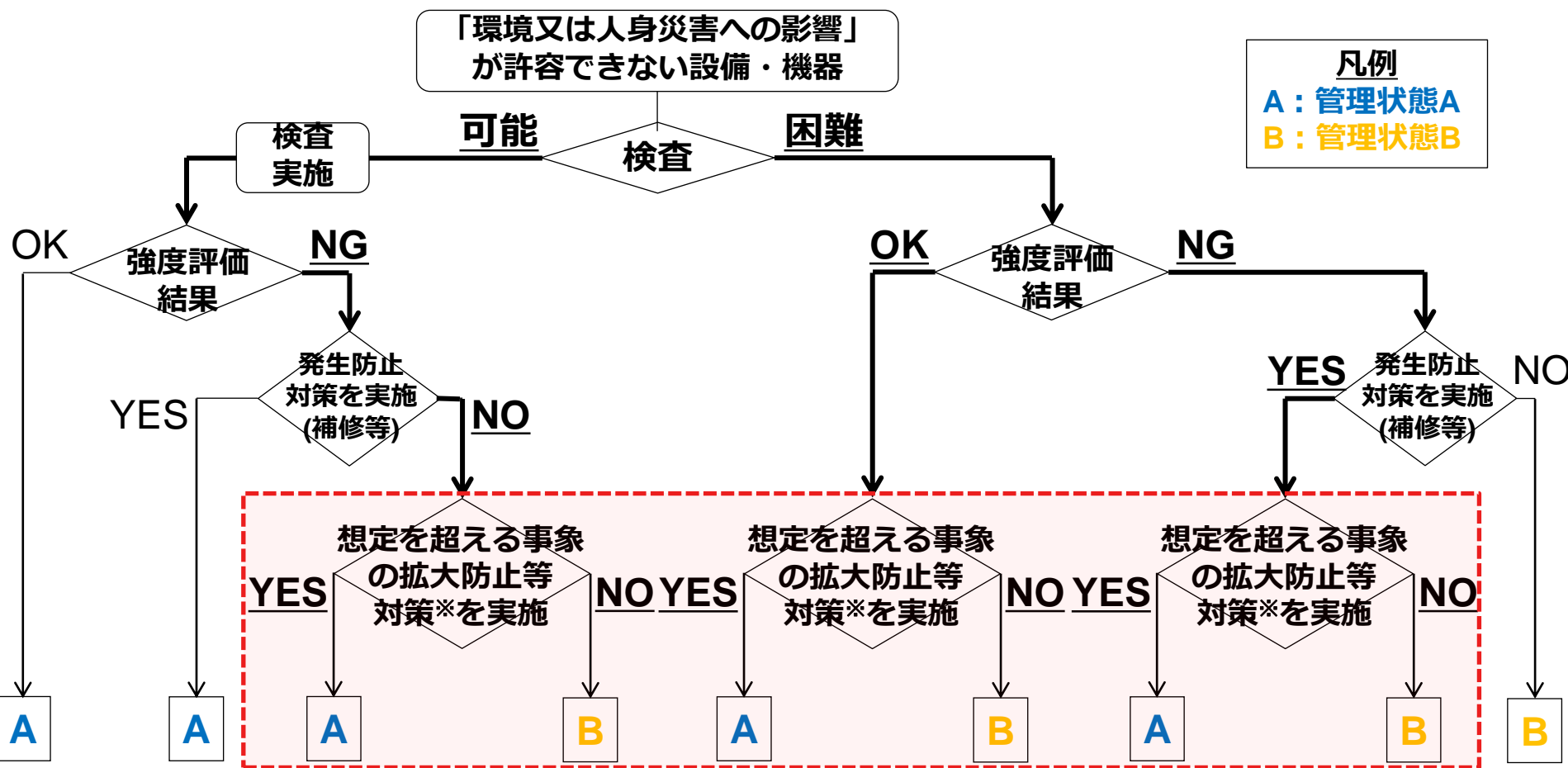
- 要求機能が満足するかどうかの判断として、「保全の3本柱である検査・評価・是正（補修等）」と「想定を超える事象への対策（深層防護第4層相当）」の4つを設定し、管理状態を定める。



※ 異常検知・拡大防止・制御・影響緩和対策

判断「想定を超える事象への対策」について (1/2)

- 検査可能かつ強度評価NGとなる設備の内、「補修等の発生防止対策NO」と判断される設備について、「想定を超える事象の拡大防止等対策」を要求。
- **検査が困難な箇所については、「想定を超える事象の拡大防止等対策」を要求。**



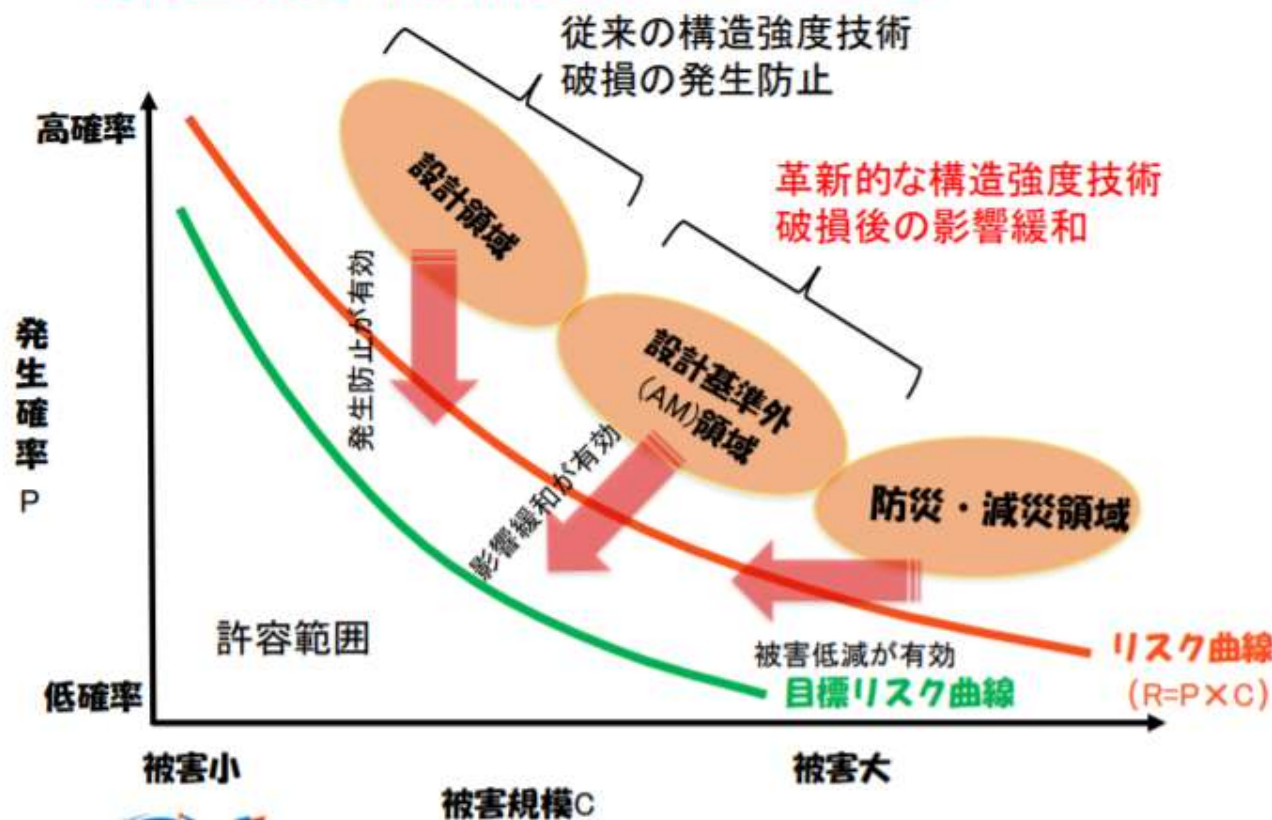
判断「想定を超える事象への対策」について (2/2)

- **想定を超える事象（設計基準外(AM)領域）への対応は、影響緩和が有効**である。
- 事象発生後の破損シーケンスを事前に検討する必要がある。
- 設備単体での対策だけでなく、システム全体としての対策も重要。

BDBE2000 設計基準外事象に対する対策の考え方

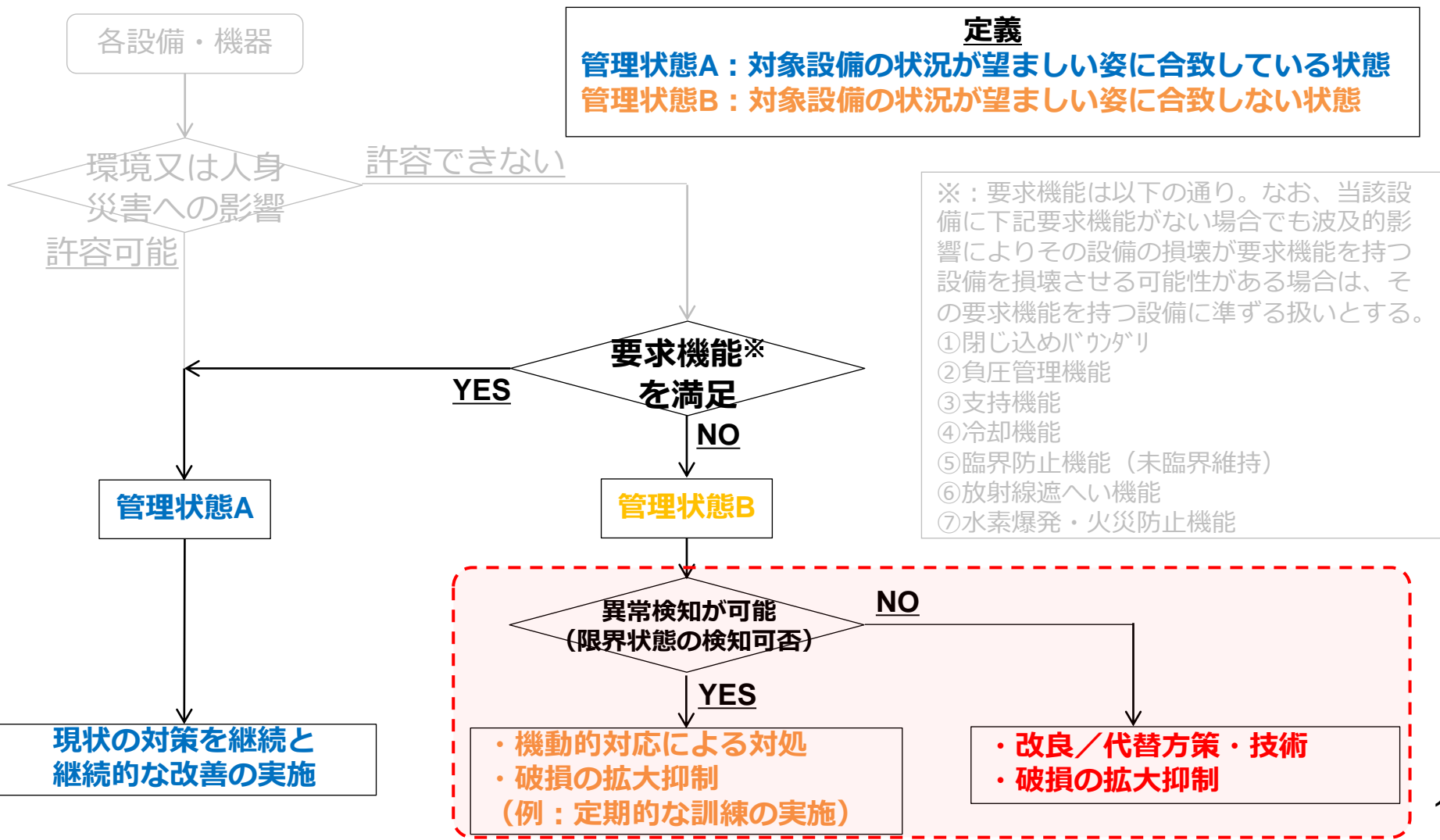
BDBE2100 設計基準外事象に対する安全の考え方

従来とは異なる新しい構造強度アプローチを提案



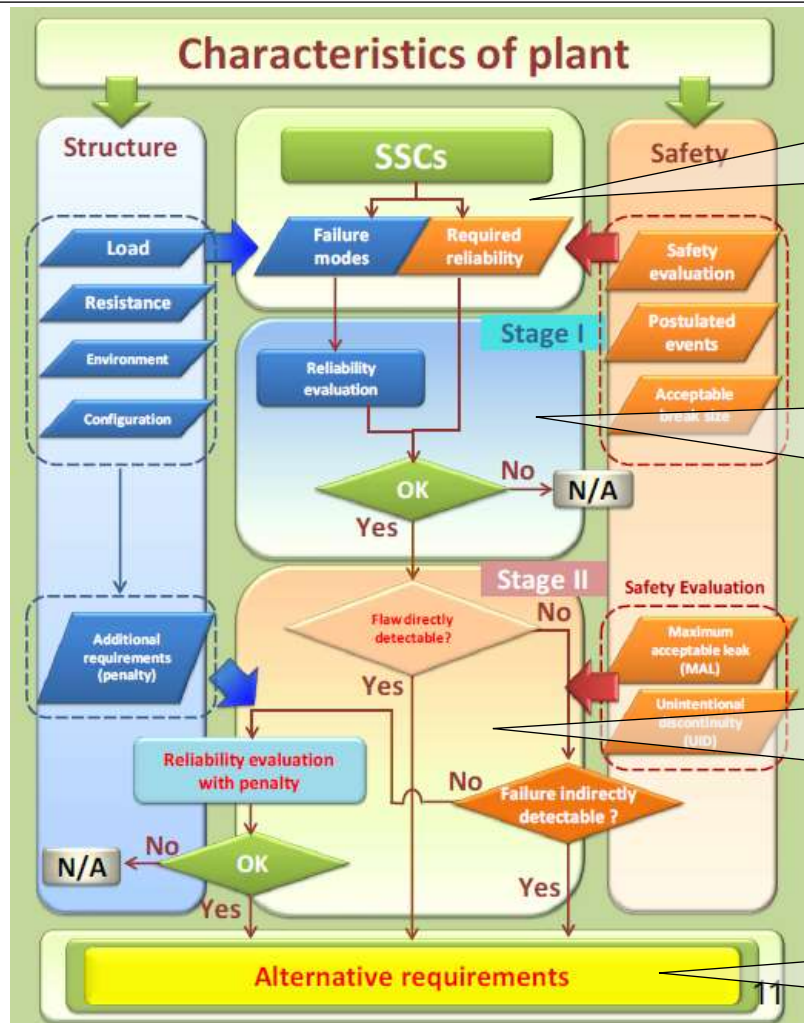
判断「異常検知が可能」について (1/2)

- **フロー評価時点で異常検知が可能な場合**
 - 検知後の対応として、**機動的対応等を要求**
- **フロー評価時点で異常検知が困難な場合**
 - 様々な技術等を活用した**改良/代替方策等を要求**



判断「異常検知が可能」について (2/2)

- システム化規格 (ASME CC N-875) では、**検査を前提としない状態で目標信頼性を満足する場合に異常検知が可能**であることを条件に代替要求の適用を許可
- 事象の進展が遅い1Fの特徴を考慮すると、**異常を検知できれば、機動的対応により対処が可能**と考えられる。



○目標信頼性の設定

プラントの安全評価等で想定する限界状態に基づき静的機器の**目標信頼性を設定**

○Stage I の評価 (目標信頼性の満足)

考慮すべき破損モードを全て考慮し、**検査を前提としない状態で目標信頼性を満足すること**

○Stage II の評価 (検知性)

限界状態に至る前に**異常を検知可能であること**。不可の場合は"Additional Requirement"の適用を検討

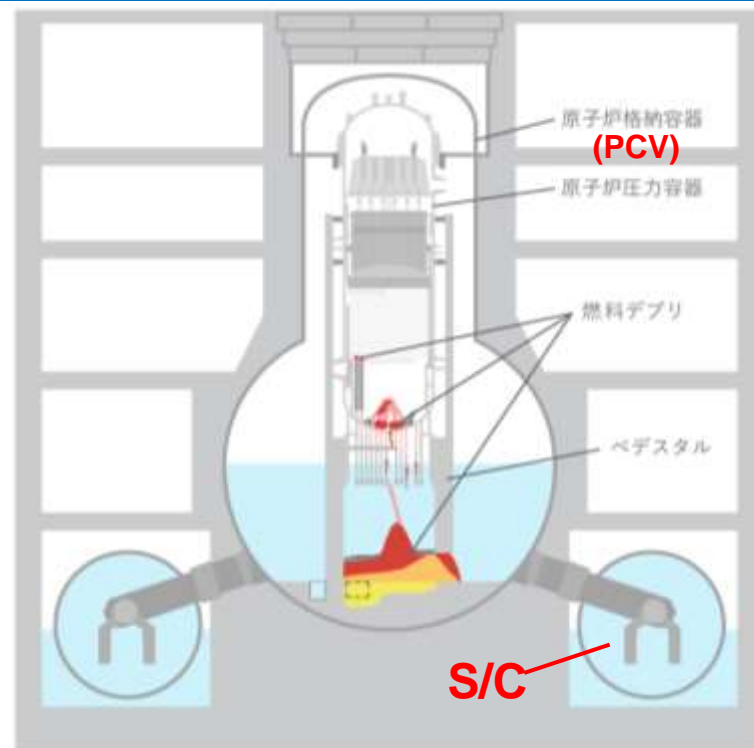
○上記評価に基づき代替要求の適用性を判断

1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
3. 強度評価の体系化の検討結果
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
 - 3号機サプレッションチェンバー (S/C)
5. 今後の予定

3号機サブプレッションチェンバー (S/C) の状況

- 東日本大震災後、**満水状態**になっている。
- **震災後の機器の劣化を考慮した耐震性評価**が実施されている*。
- 震災後20年(2031年まで)の劣化を考慮し、耐震評価を実施した結果、**最も厳しい部位においても、求められる機能が維持される**ことが確認されている。
- 現在、長期的なリスク低減の観点から、震災後20年までに実施可能な耐震性向上として、**PCV(S/C)水位低下が計画**されている。

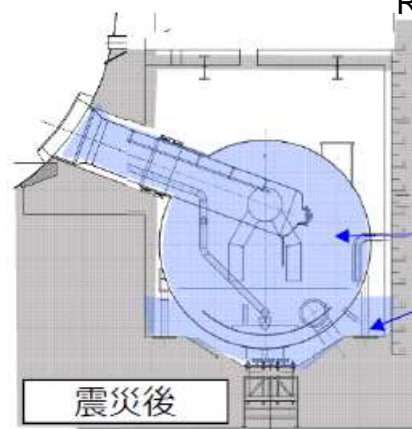
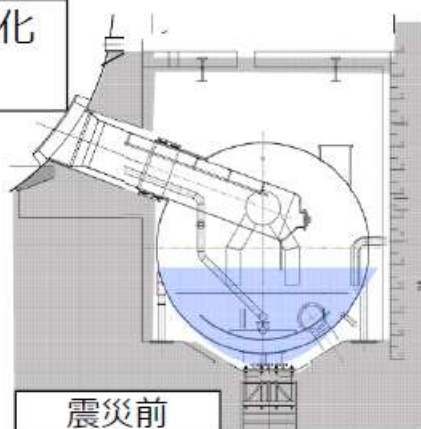
※第75回特定原子力施設監視・評価検討会 資料1-1



3号機の状況 (推定)

Ref. 東京電力HDのHP (一部加筆)

S/C内部の状態変化
(震災前/後)



S/C : 満水を想定
建屋滞留水

➡ S/Cシエル、サポート部等の劣化を考慮

ケーススタディー(現状の対策)

■ S/Cの要求機能：閉じ込めバウンダリ

定義

管理状態A：対象設備の状況が望ましい姿に合致している状態

管理状態B：対象設備の状況が望ましい姿に合致しない状態

3号機S/C

現時点では判断基準が明確でないため、「許容できない」と仮定

環境又は人身
災害への影響

許容できない

許容
可能

YES

要求機能
を満足

管理状態A

現状の対策を継続と
継続的な改善の実施

管理状態B

異常検知が可能
(限界状態の検知可否)

YES

・機動的対応による対処
・破損の拡大抑制
(例：定期的な訓練の実施)

第78回特定原子力施設監視・評価検討会資料5-2よりOKと判断

検査

困難

OK

強度評価
結果

NG

発生防止
対策を実施
(補修等)

NO

YES

想定を超える事象
の拡大防止等
対策※を実施

NO

YES

想定を超える事象
の拡大防止等
対策※を実施

NO

A

B

A

B

B

※ 異常検知・拡大防止・制御・影響緩和対策

NO

・改良/代替方策・技術
・破損の拡大抑制

ケーススタディー（現状の対策）

■ S/Cの要求機能：閉じ込めバウンダリ

定義

管理状態A：対象設備の状況が望ましい姿に合致している状態

管理状態B：対象設備の状況が望ましい姿に合致しない状態

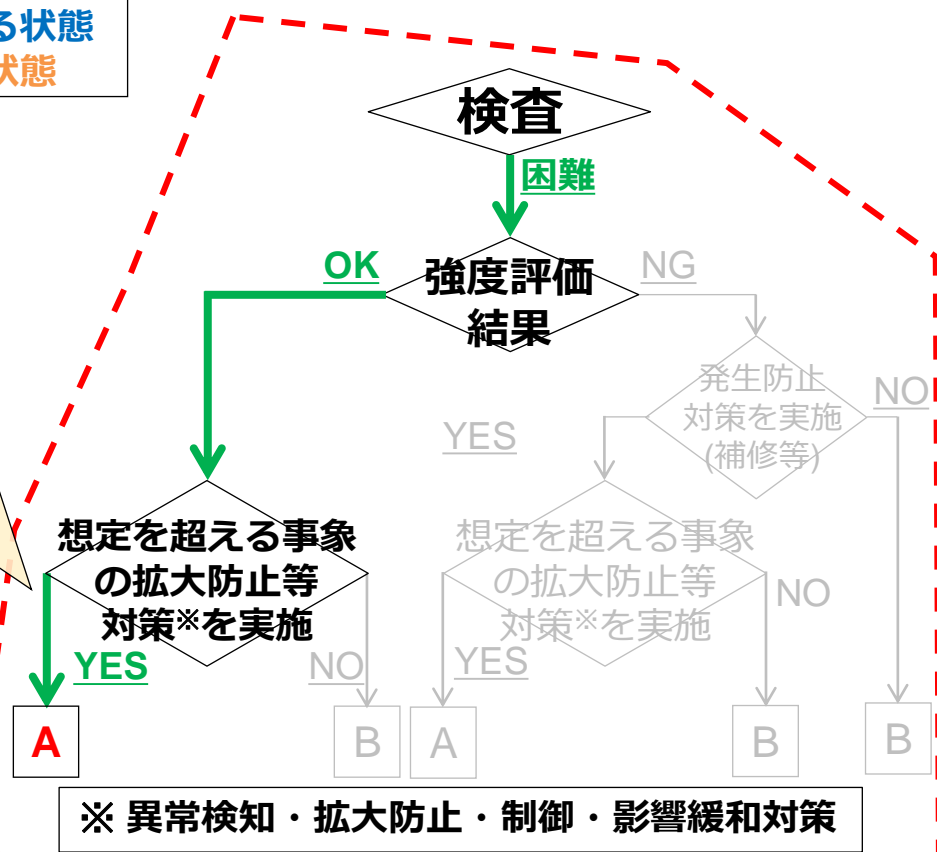
3号機S/C

- **S/Cが損傷した場合の想定事象**
 - ✓ 「トラス室水位上昇」
→ 「地下水位との逆転」
- S/C接続配管破断を仮定した場合、**トラス室（建屋）水位とサブドレン水位の逆転に3週間**
→ 3週間以内にサブドレン水位上昇と建屋水位低下の対応により**水位逆転防止可能と想定**
- 常設の他に仮設移送設備を準備
⇒ 上記対策を**YESと判断し、管理状態Aと判定**

現状の対策を継続と継続的な改善の実施

・機動的対応による対処
・破損の拡大抑制
(例：定期的な訓練の実施)

・改良/代替方策・技術
・破損の拡大抑制



継続的な改善の例（破損拡大抑制技術と改良・代替方策/技術）

■ 破損の拡大抑制技術 (例)

① 砂利をいれる（レジリエンス対応：
a. 緊急対応的に破損影響緩和、対応時間の延長

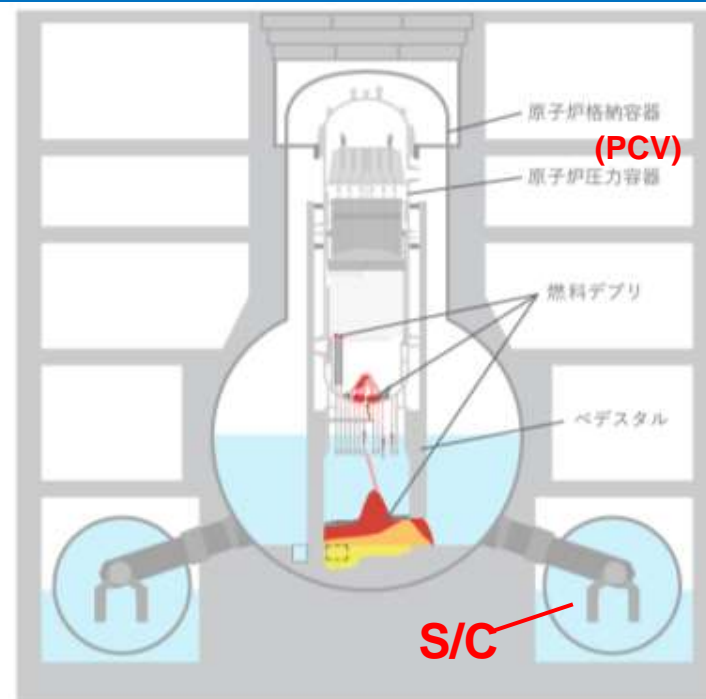
b. 破壊制御、荷重点再配分）

■ 改良・代替方策/技術 (例)

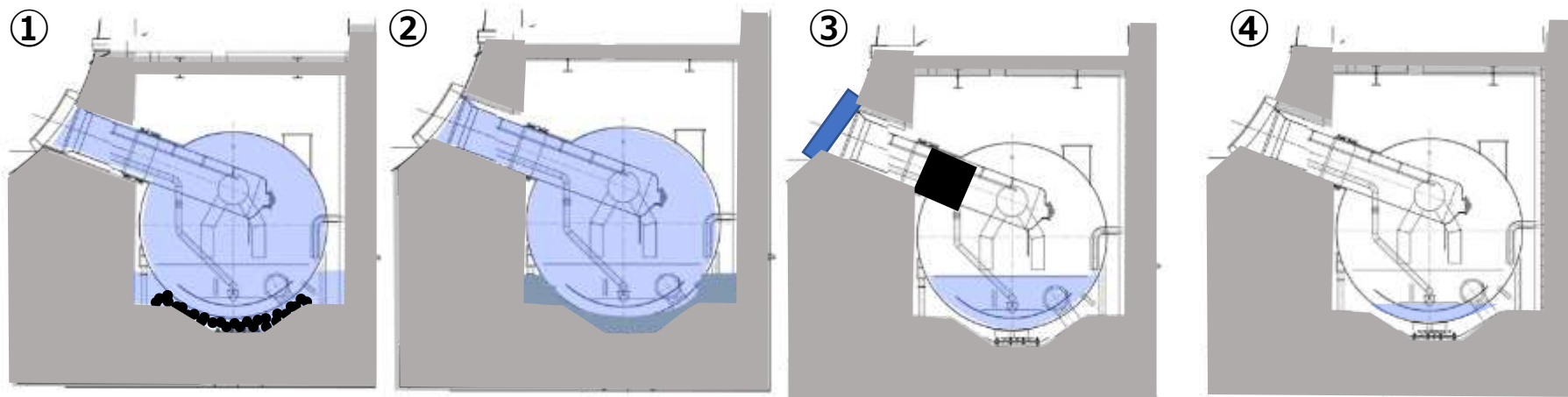
② S/C底部グラウト打ち

③ ベント管/ジェットデフ止水

④ S/C水抜き



Ref. 東京電力HDのHP（一部加筆） 3号機の状況（推定）



1. はじめに
2. 強度評価の体系化の基本的考え方
3. 強度評価の体系化の検討結果
4. 1Fを例にした場合のケーススタディー
5. 今後の予定

- 今後は構造物の破損シーケンスを考慮しつつ、以下の内容を具体的に検討する。
 - 環境又は人身災害への影響
 - 検査可能・困難の判断
 - 検査方法
 - 強度評価手法
 - レジリエンス対応（破損の拡大抑制、破壊制御）

ご清聴有難うございました。