

原子力発電所の検査と健全性評価に関する 制度整備について

平成15年9月
原子力安全・保安院

健全性評価の考え方(1)

健全性評価制度とは、原子力発電設備にき裂が生じた場合に、その設備の構造健全性を評価するためのルール。

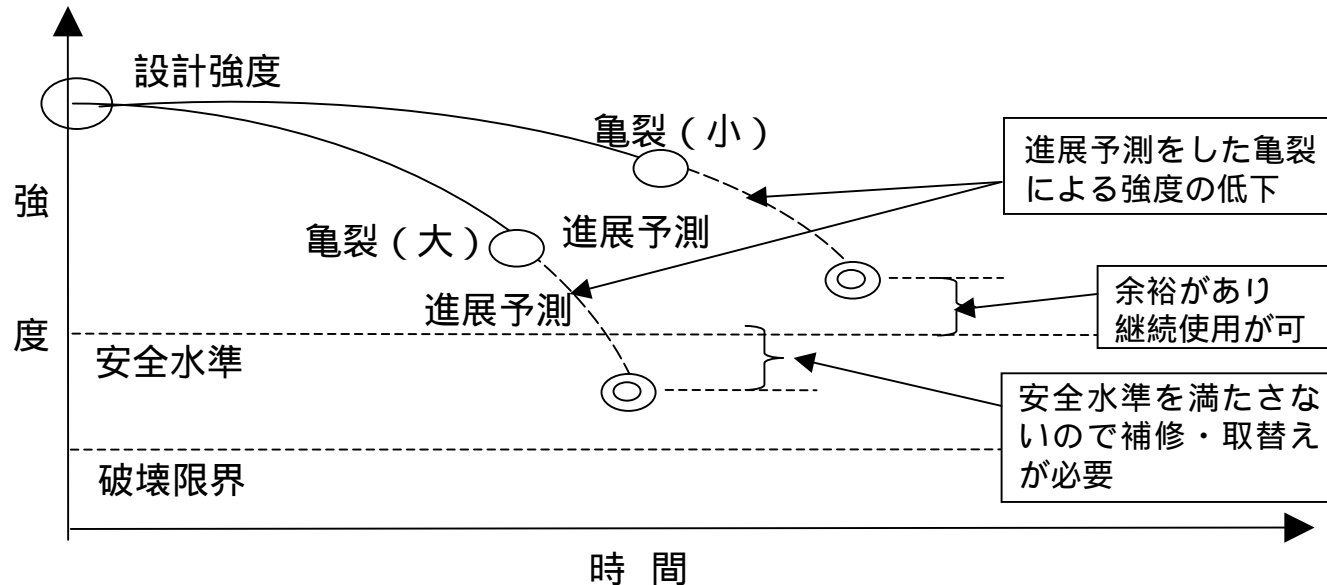
昨年12月に電気事業法が改正され、事業者に対して、以下を義務づけ。

定期に原子力発電設備の検査を行うこと

検査において、き裂が発見された場合には設備の構造上の健全性を評価すること

本制度は、平成15年10月1日から施行。

健全性評価の考え方(2)



- 安全水準は、構造物の破壊限界を考慮して一定の裕度をもって設定。
- 設計時においては、この安全水準に対して、通常、裕度をもって設計。
- 設備の供用開始後において、き裂などの欠陥が生じると、その設備の構造強度が低下していく。(実際の強度低下は実線で示す。)
- 一定期間後(例えば5年)にき裂がどの程度進展するかを予測(進展予測)。
- その予測をしたき裂を基に、構造強度がどの程度低下しているかを工学的に求め、その構造強度が、安全水準を満たしている場合は、予測期間は引き続き使用可能と判断され、安全水準を満たさない場合は、修理・取替が必要と判断される。

健全性評価の考え方(3)

現行の方法

強度について安全水準のみ規定。

強度が安全水準を満たすかどうかを事業者が独自の方法で評価・判断。

将来のひび割れ等の不具合の進展予測・評価や補修・取替の時期は明確にされにくい。

規制当局は事業者の評価結果を個別に確認。



健全性評価方法

一定期間後のき裂の進展予測と評価について定量的に評価する仕組みを規定。

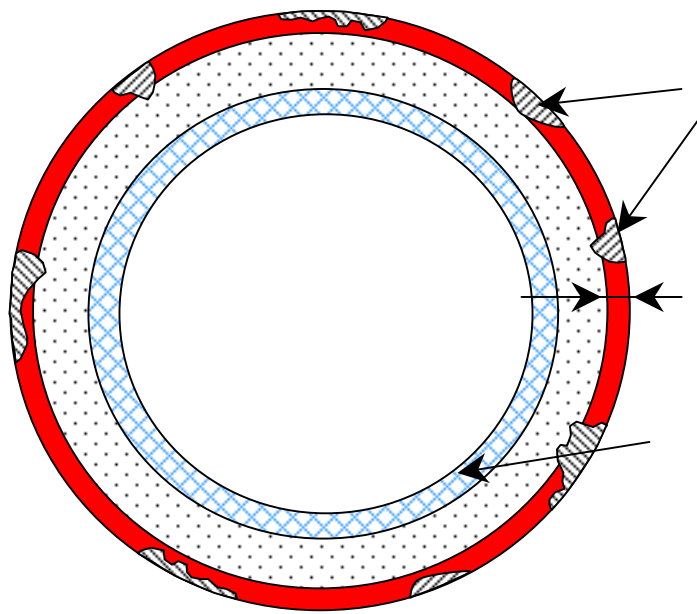
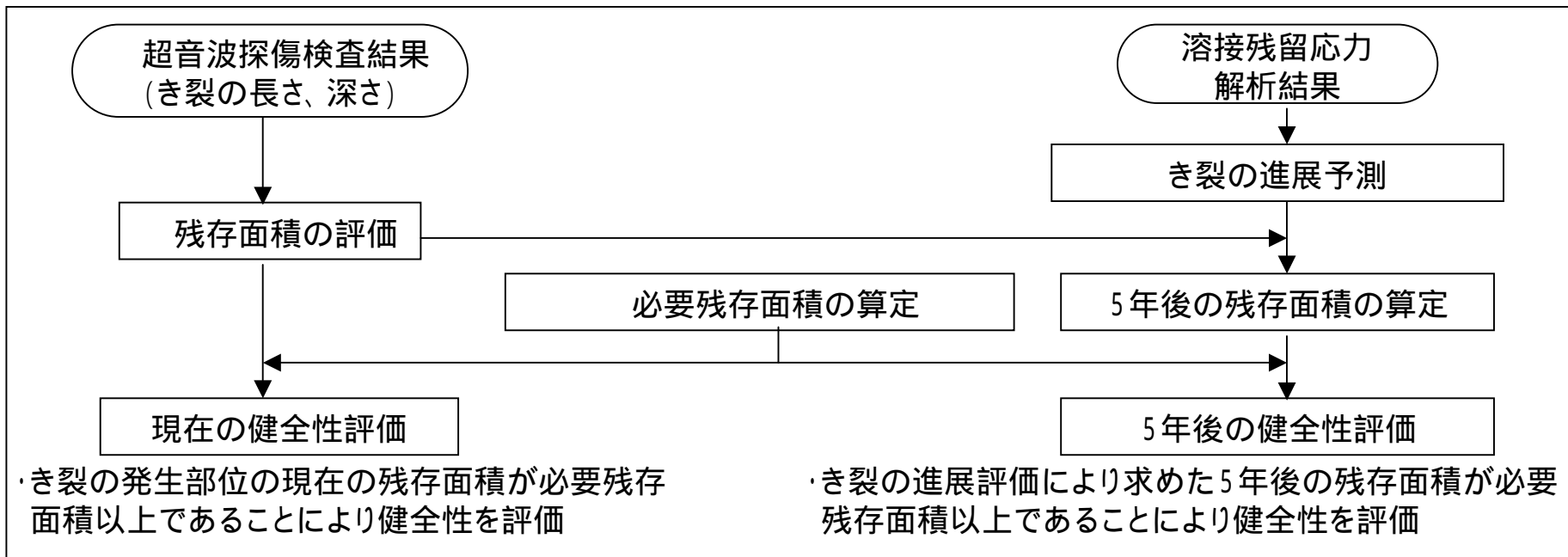
き裂が構造健全性を満たすかどうかを科学的・合理的な方法で評価。

将来のき裂の進展予測や補修・取替の時期は明確なルールの下で明確に決定。

規制当局は明確な評価手法の下で確認。

健全性評価の例(1)

～ シュラウドにおける健全性評価手法(健全性評価小委) ～



実際にき裂が発生している部分

平均的な深さのき裂が、シュラウドの全周にあるものと仮定した部分

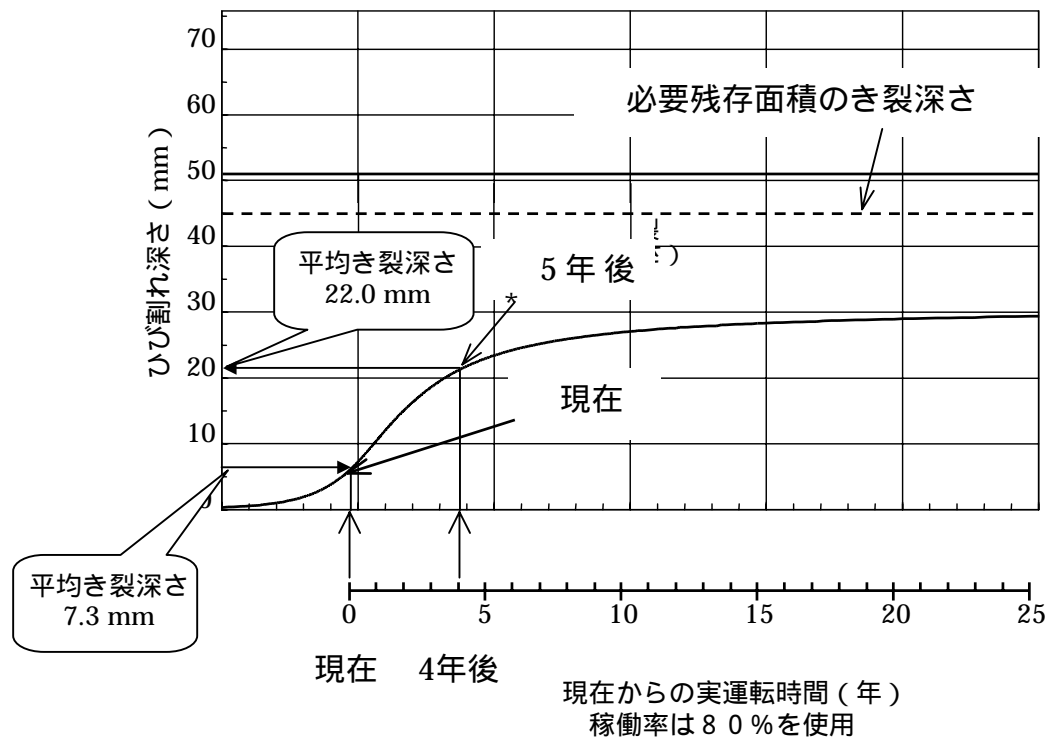
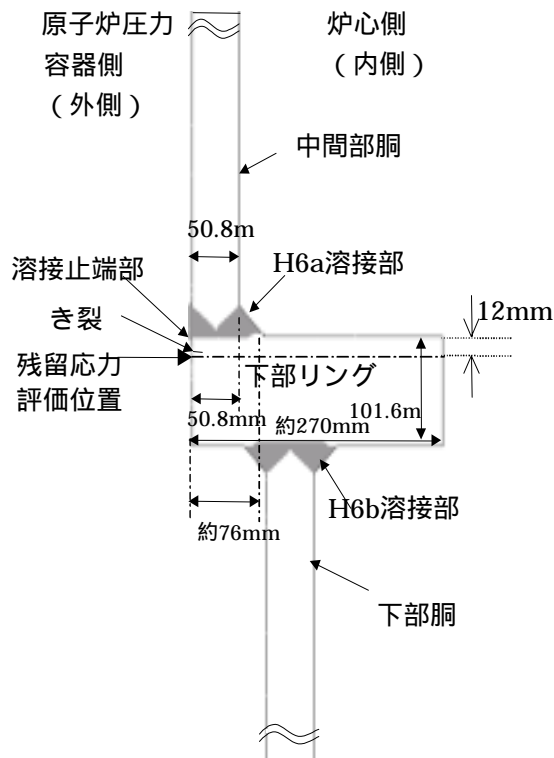
強度を確保するために必要な面積(必要残存面積)

健全性評価の例(2)

～ シュラウドのき裂進展予測の一例(健全性評価小委) ～

材料及び腐食環境等の条件が明らかな場合、「き裂進展速度」が残留応力に依存することが知られており、これに基づき、き裂の進展を予測。

< 柏崎刈羽3号機下部リング(H6a)のき裂進展予測 >



定期事業者検査と健全性評価(1)

検 査

供用期間中に行う検査(き裂の有無・大きさ)

評 価

き裂の進展予測・破壊評価

補 修

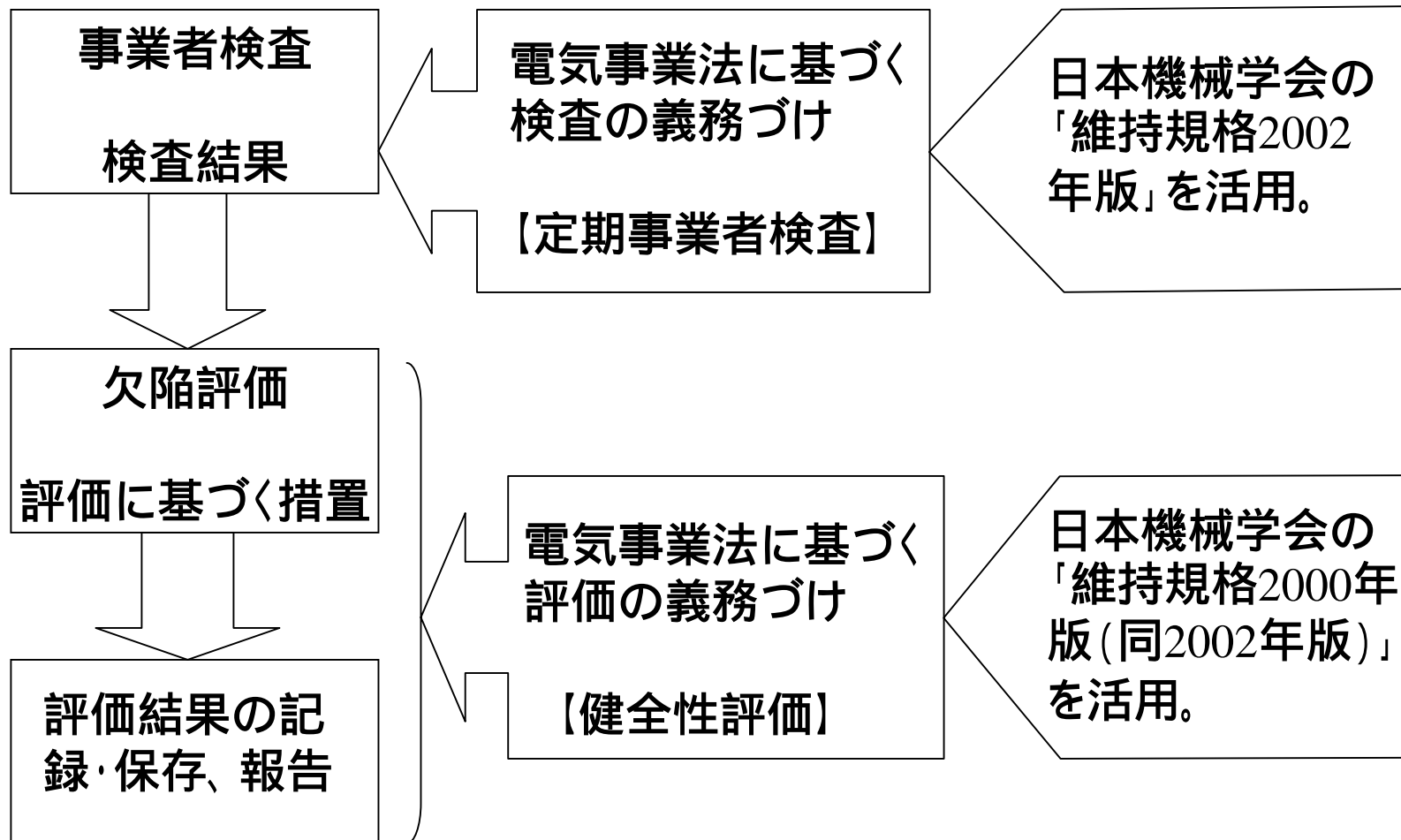
評価に基づく補修・取替等

継続運転

評価や補修に基づいて継続運転が可能

定期事業者検査と健全性評価(2)

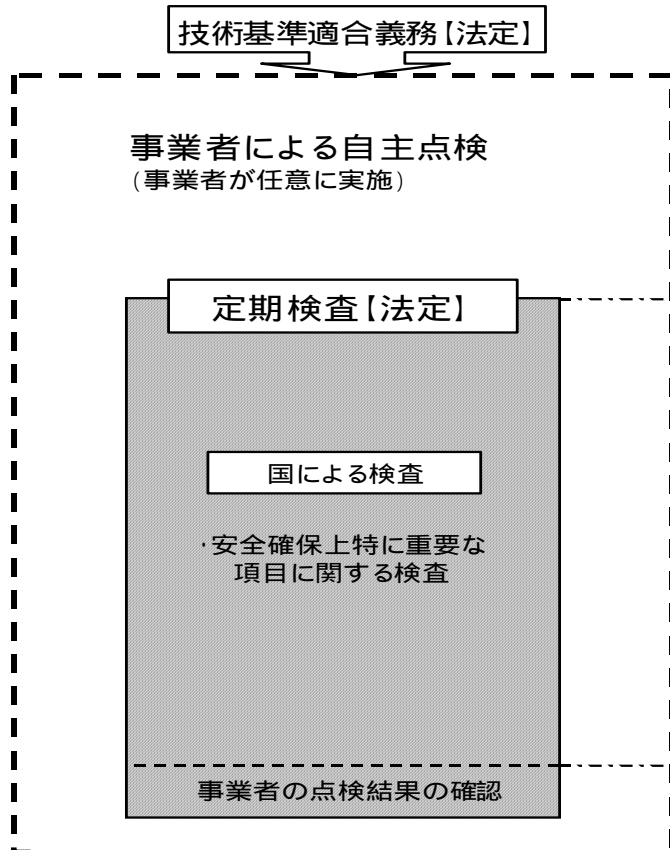
～ 制度の流れ～



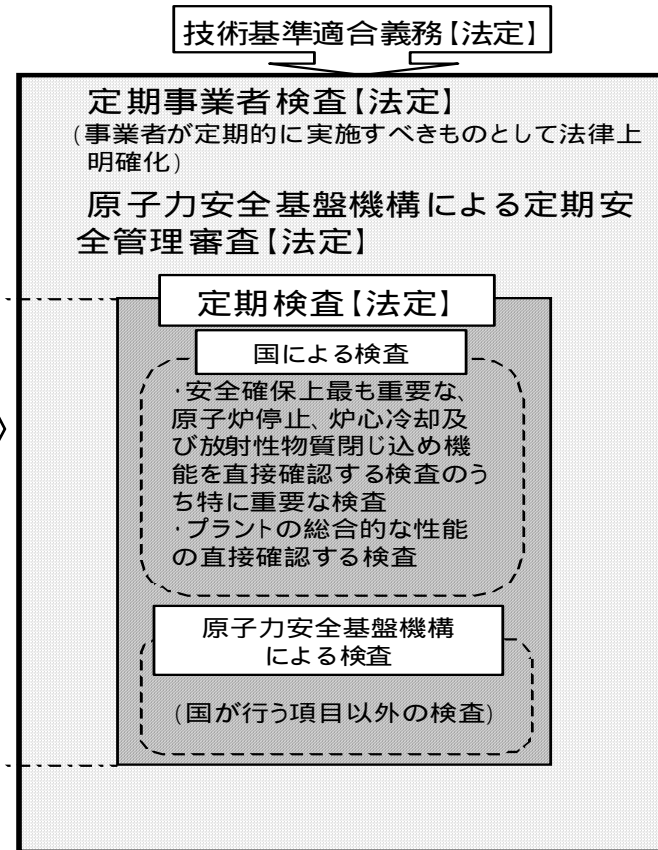
定期事業者検査(1)

～ 定期事業者検査と国の定期検査～

【改正前】



【改正後】



定期事業者検査(2)

～技術基準の適合性を確認する検査～

(1)検査対象設備

- ・原子炉本体、原子炉冷却系統設備、計測制御系統設備、燃料設備、放射線管理設備、廃棄設備、原子炉格納施設、非常用予備発電装置、蒸気タービン、補助ボイラー

(2)検査の実施時期

- ・定期検査の実施時期(原子炉施設:13ヶ月、蒸気タービン25ヶ月毎)

(3)検査の項目・方法

- ・具体的な検査項目や検査方法は学協会の民間規格を活用。

(4)検査結果の記録・保存

- ・設備の取替後一定期間保存。

定期事業者検査(3)

～学協会の民間規格の活用～

公正中立を旨とした学協会が策定した民間規格を、国が技術評価を行った上で規制基準として活用。

[保守管理の体制など一般的事項を定める民間規格]

日本電気協会・技術規程(JEAC4209-2003)「原子力発電所の保守管理規程」(策定中)

[具体的な検査方法に関する民間規格]

日本機械学会・維持規格2002年版(技術評価中)

・原子力設備を構成する機器に関する供用期間中検査の実施方法や検査で発見された欠陥の評価方法を規定。

日本電気協会・技術規程(JEAC)・技術指針(JEAG)

・超音波探傷試験指針、渦流探傷試験指針、原子炉格納容器漏えい試験規程 等

定期事業者検査(4)

～ 日本機械学会「維持規格(検査)」の概要(その1)～

「維持規格(検査)」は、原子力発電設備の供用期間中検査に関する規格として、我が国の運用実績や米国機械学会のASME Code Section XIを基礎として、2002年10月に改訂・策定。

(1)対象設備

・クラス1～3機器、クラスMC容器、支持構造物、炉内構造物

(2)検査プログラム

・10年間を検査間隔として設定。クラス1機器は高経年化を踏まえ、30年経過後7年間に短縮。

定期事業者検査(5)

～ 日本機械学会「維持規格(検査)」の概要(その2)～

(3)試験の方法

- ・非破壊試験:目視試験、表面試験(磁粉探傷法、浸透探傷法、)、体積試験(放射線透過法、超音波探傷法、渦流探傷法)
- ・漏えい試験:通常運転圧力に保持し、漏えいの有無を確認。

(4)試験の対象部位及び程度

- ・クラス1～3機器、クラスMC容器、支持構造物、炉内構造物毎に試験を行うべき部位及び程度(10年間で試験を行う割合)を設定。
- ・同じ箇所を繰り返し試験する定点サンプリング方式を採用。

(5)追加試験

- ・欠陥が検出された場合に、試験範囲を拡大して行う追加試験を実施。

定期事業者検査(6)

～ 日本機械学会「維持規格(検査)」の概要(その3)～

(6)継続検査

- ・欠陥評価の結果、継続運転が可能となった欠陥に対する継続検査。

(7)個別検査

- ・特定の経年変化事象が想定される機器について個別の試験方法を規定。(シュラウド、シュラウドサポート)
- ・応力腐食割れの進展を想定し、最小必要断面積が確保されるよう、試験の実施時期及び試験の範囲を算出の上設定。

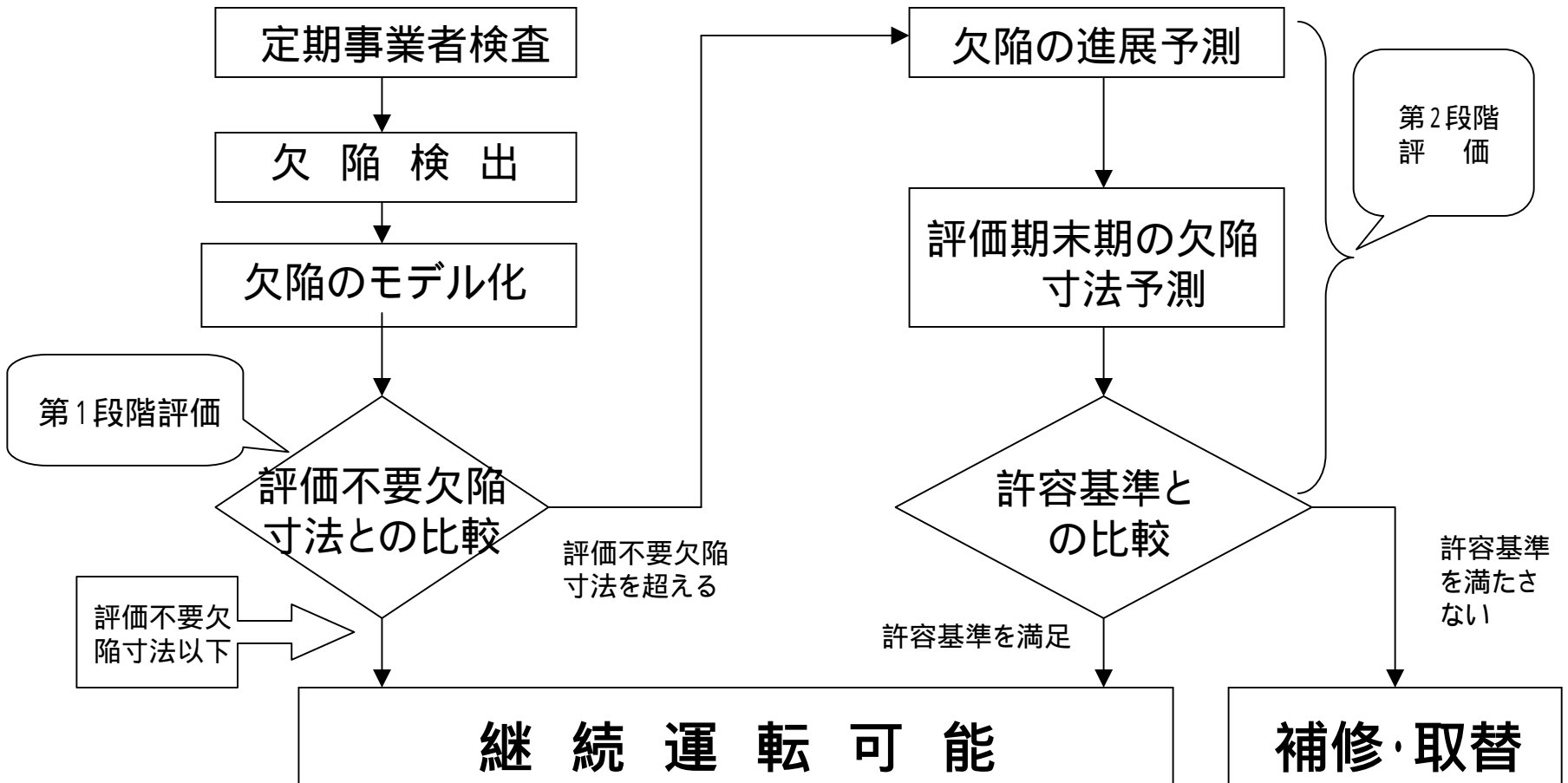
定期事業者検査(7)

～日本機械学会「維持規格(検査)」の適用に当たっての要件～

- ・日本機械学会「維持規格(検査)」は、国の委員会で技術的妥当性を評価。
- ・「維持規格(検査)」の適用に当たって、要件を付すこととする。
 - (1)非破壊試験の検査精度の確保、測定誤差の評価
 - (2) SUS316材は改良された超音波探傷法を信頼性確認の上適用。
 - (3)再循環配管等及びシュラウドの試験程度は、国の指示による頻度とし、維持規格は当面適用せず。
 - (4)シュラウド等の個別検査は実機器への適用を検証。
 - (5)最近の事故・トラブルを踏まえた対応

健全性評価制度(1)

～き裂等の欠陥の健全性評価～



健全性評価制度(2)

～ 制度の仕組み～

(1)対象設備

- ・原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器(検査精度の信頼性が確認できるまでSUS316(LC)材を用いた再循環系配管等を除外。)
- ・炉心シュラウド

(2)評価の項目・方法

- ・日本機械学会の「維持規格」を活用。
- ・炉心シュラウドは、「維持規格」のステンレス鋼管の規定を準用。

(3)判断基準

- ・技術基準(省令62号):破壊を引き起こすき裂があってはならない。
- ・具体的な判断基準は、「維持規格」の許容基準を活用。

(4)評価結果の記録・保存、国への報告

健全性評価制度(3)

～ 日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」の概要(その1)～

「維持規格(欠陥評価)」は、米国機械学会のASME Code Section XIを基礎として、クラス1機器の欠陥評価に関する規格として2000年5月に策定。

- ・その後、供用期間中検査を追加した「2002年改訂版」を策定(2002年10月)。

(1)対象設備及び対象欠陥

- ・フェライト鋼容器、フェライト鋼管:疲労き裂
- ・オーステナイト系ステンレス鋼管:疲労き裂、応力腐食割れ及びこれらの組合わせ

健全性評価制度(4)

～ 日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」の概要(その2)～

(2)第1段階の欠陥評価

- ・ 供用期間中検査で検出された欠陥(疲労き裂)の形状をモデル化。
 応力腐食割れは対象外。
- ・ モデル化された欠陥の寸法を評価不要欠陥と比較。
- ・ 評価不要欠陥寸法以下であれば、継続運転が可能。

(3)第2段階の欠陥評価

- ・ 応力腐食割れ及び評価不要欠陥寸法を超える疲労き裂が対象。
- ・ 評価期間を設定し、同期間末期の欠陥寸法を進展予測。
- ・ 許容基準と比較し、同基準以下であれば継続運転が可能。同基準を超える場合は、同基準を超える前までに修理取替。

健全性評価制度(5)

～ 日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」の概要(その3)～

(4)進展予測の方法

- ・疲労き裂:一回の繰り返し当たりのき裂進展量が応力拡大係数の関数の変動範囲の関数として付与。
- ・応力腐食割れ:単位時間当たりのき裂進展量が応力拡大係数の関数として付与。
- ・進展予測に用いる荷重:通常運転時の荷重、過渡条件による荷重、機械的荷重や地震荷重を組み合わせ。

・進展速度

フェライト鋼の疲労き裂の進展速度

オーステナイト系ステンレス鋼のBWR環境中の疲労き裂進展速度及び同環境中鋭敏化SUS304の応力腐食割れ進展速度

健全性評価制度(6)

～ 日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」の概要(その4)～

(5)破壊評価の方法

< 荷重条件 >

内圧、外荷重等の機械的荷重及び熱過渡変化による熱荷重、溶接部の残留応力、地震荷重(JEAG-4601による S_1^* 、 S_2)

フェライト鋼容器

- ・線形破壊力学的手法：応力拡大係数 K が材料の静的平面ひずみ破壊靱性値 K_{IC} を上回らなければ、脆性破壊が生じない。

フェライト鋼管、オーステナイト系ステンレス鋼管

極限荷重評価法

弾塑性破壊力学評価法

2パラメータ評価法

健全性評価制度(7)

～ 日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」の適用に当たっての要件～

- ・日本機械学会「維持規格(欠陥評価)」は、国の委員会で技術的妥当性を評価。
- ・「維持規格(欠陥評価)」の適用に当たって、要件を付すこととする。

- (1)非破壊試験は、適切な検査方法、能力のある検査員により実施。
- (2)SUS316材は改良された超音波探傷法を信頼性確認の上適用。
- (3)欠陥の検出された場合には、追加試験を実施。
- (4)評価不要欠陥の取扱・監視、応力腐食割れの判断根拠の明確化
- (5)継続運転可能と評価された欠陥の継続検査。
- (6)評価の前提条件が変わる場合には、再評価の実施。

技術基準の性能規定化と民間規格の活用

