

設備健全性評価における 経年劣化の考慮について

平成20年2月28日
東京電力株式会社



東京電力

柏崎刈羽原子力発電所のプラント概要

	出力[MW]	型式	運転開始日	年数[Y]
1号機	1100	BWR5	1985.9.18	22
2号機	1100	BWR5	1990.9.28	17
3号機	1100	BWR5	1993.8.11	14
4号機	1100	BWR5	1994.8.11	13
5号機	1100	BWR5	1990.4.10	17
6号機	1356	ABWR	1996.11.7	11
7号機	1356	ABWR	1997.7.2	10

《参考》福島第一原子力発電所

	出力[MW]	型式	運転開始日	年数[Y]
1号機	460	BWR3	1971.3.26	36

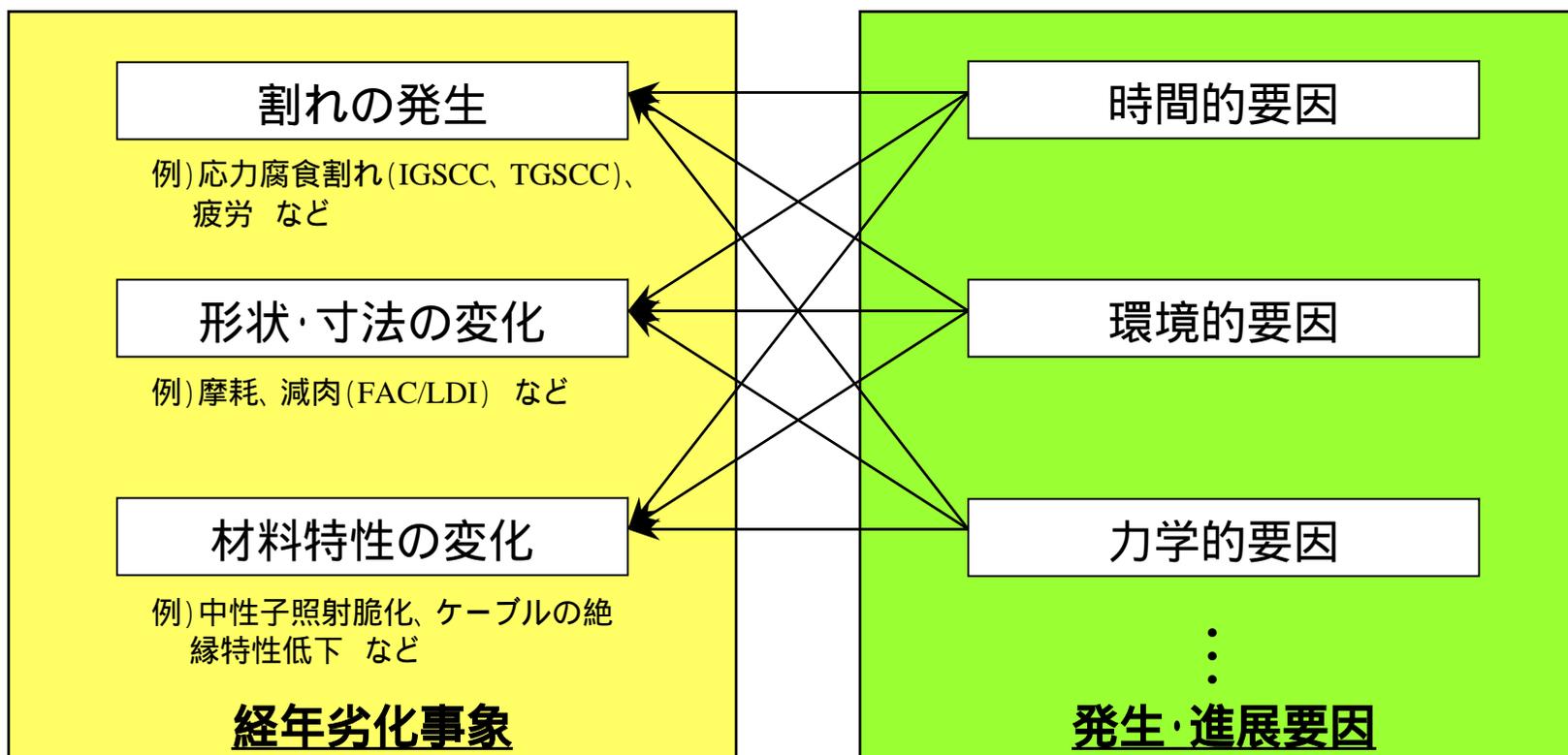
設備健全性評価における経年劣化の考慮について

■ 基本方針

- ✓ 新潟県中越沖地震に対する設備の健全性評価（設備点検及び地震応答解析）の一環として、「経年劣化」による設備健全性への影響について検討する
- ✓ 耐震安全上重要な設備において顕在化している可能性のある経年劣化事象のうち、地震による発生・進展あるいは構造強度への影響が考えられる経年劣化事象を検討対象とする
- ✓ 検討対象とする経年劣化事象と対象機器は、保全実績やこれまでの国内における高経年化対策の検討実績を活用して選定する
- ✓ 設計において考慮する事象、地震発生時点で顕在化している事象は、地震応答解析において、経年劣化の状況を踏まえた評価を実施する

経年劣化事象の形態、発生・進展要因

- 経年劣化事象の形態は、「割れの発生」「形状・寸法の変化」「材料特性の変化」に大別できる
- 経年劣化事象は、時間的要因、環境的要因（熱、放射線など）、力学的要因などの作用（単独あるいは重畳）により発生・進展する



検討対象事象の選定

■地震（繰り返し荷重）による影響として、割れの発生（顕在化している割れの進展）、形状・寸法変化（断面減損）が生じている場合の過大な応力の発生に着目し、以下の事象を検討対象事象として抽出した

（１）粒界型応力腐食割れ（IGSCC（以降「SCC」と表記））

SCCが顕在化している場合、地震により僅かに進展する可能性があり、過大な荷重が作用した場合に構造強度に影響を与える可能性がある

対象機器：炉心シュラウド、原子炉再循環系配管 などのステンレス鋼製機器

（２）低サイクル疲労

運転に伴う疲労（内圧、熱）に加えて、地震荷重による疲労が蓄積される

対象機器：原子炉圧力容器（RPV）、RPVバウンダリ配管 など

（３）配管減肉（流れ加速型腐食：FAC）

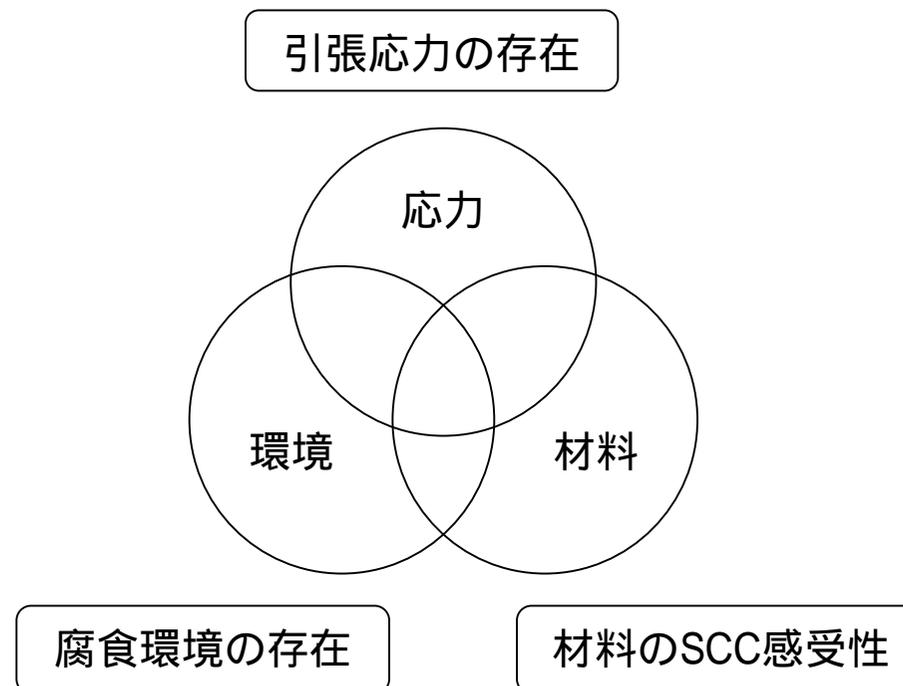
地震によって発生・進展は助長されないが、過大な減肉が生じている場合、構造強度に影響を与える可能性がある

対象機器：主蒸気/給水系配管 などの炭素鋼製配管

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■ 事象の概要

- ✓ SCC感受性を有する材料（オーステナイトステンレス鋼など）が、高温純水等の環境下において、溶接残留応力等の引張応力下で割れを生じ、経時的に進展する事象
- ✓ 材料・環境・応力の3要因の重畳により発生する可能性がある



経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■ 評価対象機器

- ✓ SCCの発生要因のある炉心支持構造物、炉内構造物、原子炉再循環系配管（PLR配管）等を対象とする
- ✓ 上記の機器は日本機械学会「発電用原子力設備規格 維持規格」等により管理されており、これまでに炉心シュラウド、PLR配管においてSCCの発生が確認され、地震発生時点で欠陥が残存していた機器があることから、これらを代表として評価対象とする

SCCの顕在化が確認されている機器

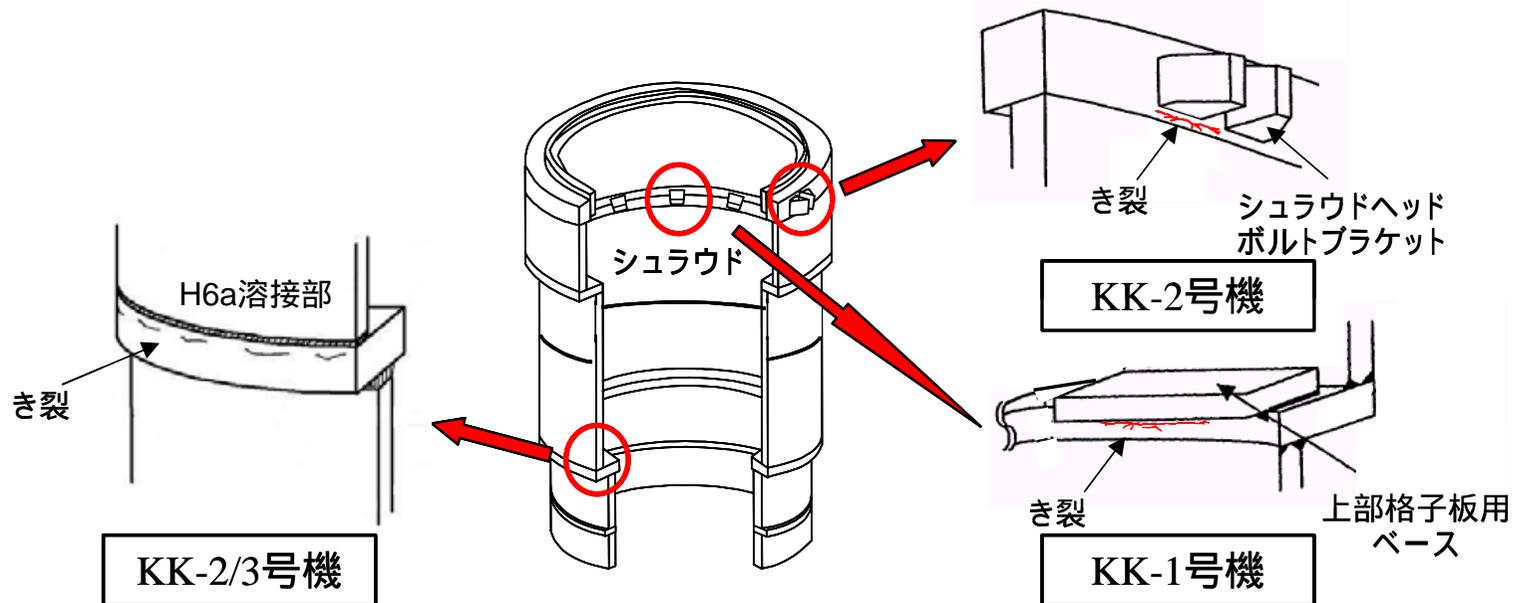
	炉心シュラウド	PLR配管
KK-1	上部格子板用ベース	2継手
KK-2	中間胴-下部胴溶接部(H6a) シュラウドヘッドボルトブラケット	-
KK-3	中間胴-下部胴溶接部(H6a)	1継手
KK-5	-	1継手

構造健全性に影響を及ぼさないものであると評価されている

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■シュラウドのSCC発生状況

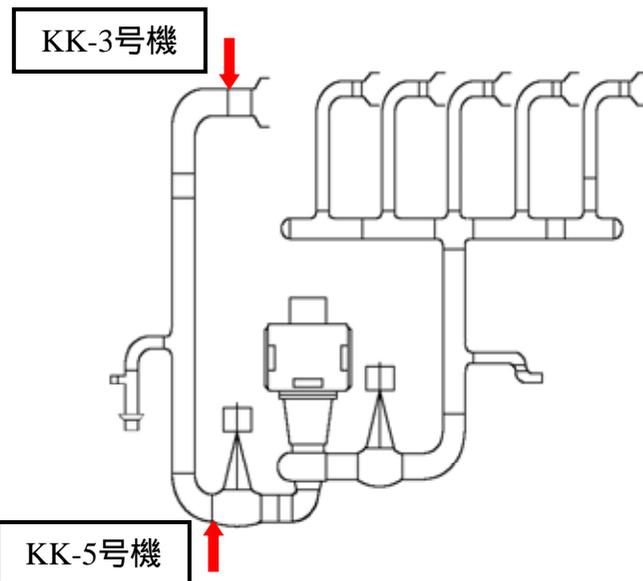
- ✓ KK-2/3号機において、シュラウドのH6a溶接部近傍にSCCを確認
- ✓ 健全性評価を行い運転を継続し、その後、継続検査を実施している
- ✓ また、KK-1の上部格子板用ベース溶接部近傍、KK-2のシュラウドヘッドボルトブラケット溶接部近傍にSCCが確認されている
(これらのき裂は強度に影響を及ぼさないものと評価されている)



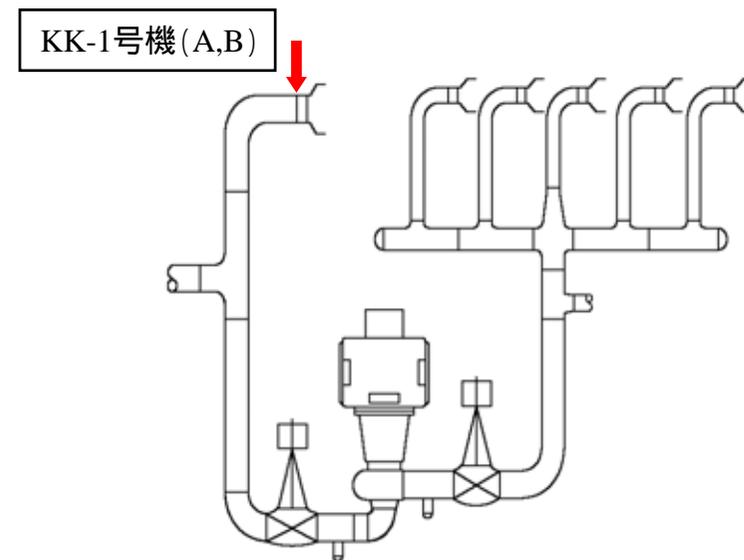
経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■PLR配管のSCC発生状況

- ✓ KK-3/5号機のPLR配管にSCCを確認し、健全性評価を実施
- ✓ KK-3号機は、SCCを残したまま1サイクル運転を継続
- ✓ なお、KK-1号機において確認されている欠陥は、進展性のない面状欠陥と判断し、継続的に監視することとしている



PLR配管のき裂箇所 (KK-3/5号機)



PLR配管の面状欠陥箇所 (KK-1号機)

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■ 評価の概要

- ✓ SCCの顕在化している部位について、非破壊検査（UT）によるサイジングを実施
- ✓ 構造健全性に影響する部位について、UT結果に基づきモデル化を行い、本地震に対する構造健全性を評価（本地震による疲労き裂進展についても評価）

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

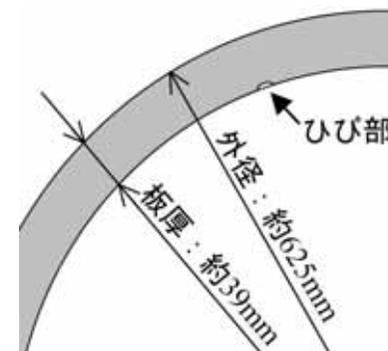
■PLR配管の評価状況 (KK-3号機)

- ✓ KK-3号機のPLR配管について、UTによるサイジングを完了
- ✓ 今後、原子炉建屋の応答解析結果に基づき、本地震による構造強度への影響を評価
- ✓ 当該部からサンプルを採取し、断面調査等の実施を予定

配管外径	配管肉厚	深さ*1 (UT指示)		長さ*2 (UT指示)	
		前回結果	今回結果	前回結果	今回結果
625.4 mm	38.9 mm	3.5 mm	5.3 mm	26 mm	29 mm

* 1 : 「超音波探傷試験システムの性能実証」(PD)による結果

* 2 : 45°斜角探傷法による記録

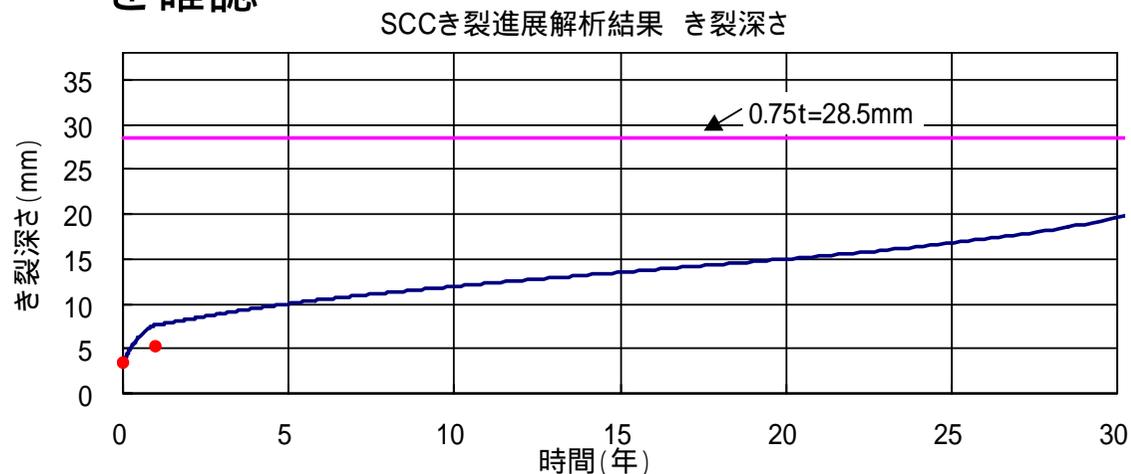


ひび部の概略イメージ図

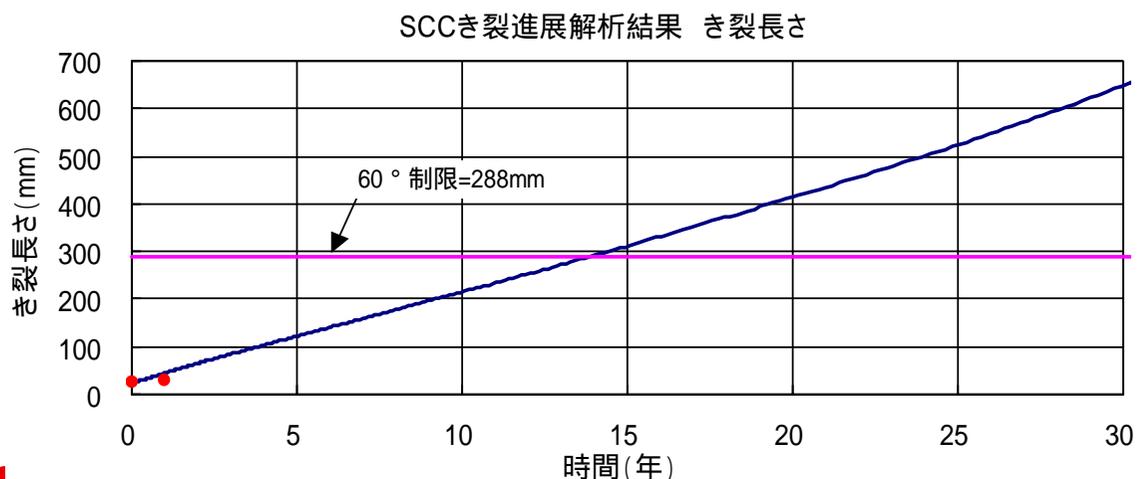
経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (SCCの評価方針)

■PLR配管の評価状況 (KK-3号機)

✓ UTの結果、約1年間のSCC進展予測深さ・長さを下回っていることを確認



健全性評価 初期深さ (第9回定期 検査)	今回 点検結果 (第10回定期 検査)	進展予測 (約1年後)
3.5mm	5.3mm	約7.6mm



健全性評価* 初期長さ (第9回定期 検査)	今回* 点検結果 (第10回定期 検査)	進展予測 (約1年後)
26mm	29mm	約44mm

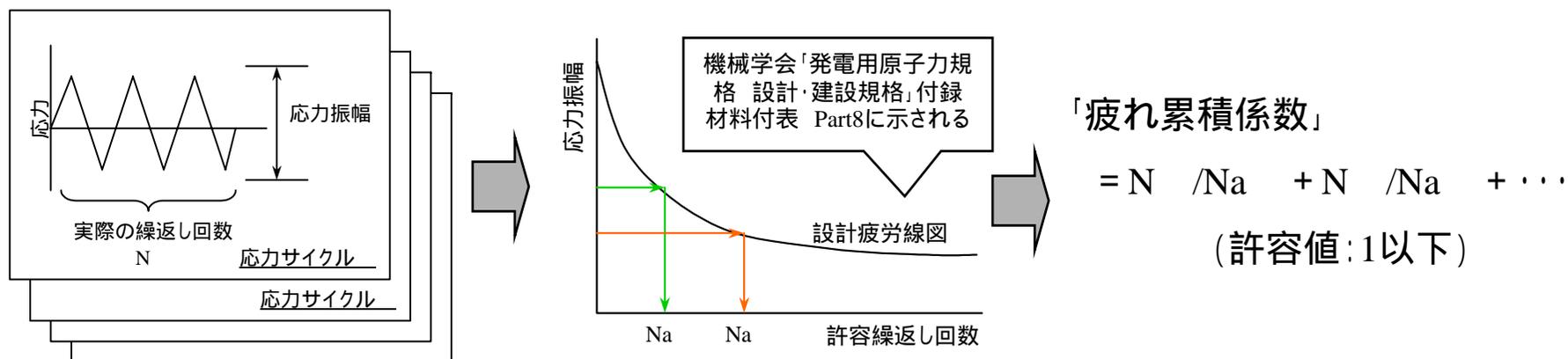
* : 45°斜角探傷法による記録

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (低サイクル疲労の評価方針)

■ 事象の概要

- ✓ プラントの起動・停止時の熱過渡や地震などによる繰返し荷重が作用することにより、材料に微小な変形領域が生じ、それが微小な割れとなって成長し、静的強度より低い応力でも割れを起こす事象
- ✓ 機器の設計においては、圧力・温度の変動幅などの条件に応じて疲労設計を行い、疲れ累積係数*が許容値（1）以下となるよう配慮

* : 応力サイクル毎の「実際の繰返し回数 / 許容繰返し回数」を求め、全ての応力サイクルについて加算したもの



疲労設計のイメージ

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (低サイクル疲労の評価方針)

■ 評価対象機器

- ✓ 建設時疲労評価の厳しい箇所を選定して評価を実施する

(KK7主蒸気管, KK7RPV再循環ポンプ(RIP)ノズルの建設時設計の例)

		地震なし	S ₁ 地震時	S ₂ 地震時
疲れ累積係数	再循環ポンプノズル	U = 0.027	U+US ₁ =0.034	U+US ₂ =0.047
	主蒸気管	U = 0.0326	U+US ₁ =0.0326	U+US ₂ =0.0326

■ 評価の概要

- ✓ 本地震による疲れ累積係数を算出し、運転に伴う疲れ累積係数に加算評価
- ✓ 運転に伴う疲れ累積係数の算出に用いる過渡回数は、運転実績も考慮できるものとする

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (配管減肉の評価方針)

■ 事象の概要

- ✓ 化学的作用と機械的作用の重畳によって、配管内面が局部的に減肉する事象
- ✓ 流れの影響で局部的な腐食が加速される現象（流れ加速型腐食：FAC）や、気液二層流の流体条件下で高速になった液滴の作用により配管が局部的に浸食される現象（液滴衝撃エロージョン：LDI）などに分類される

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (配管減肉の評価方針)

■ 評価対象機器

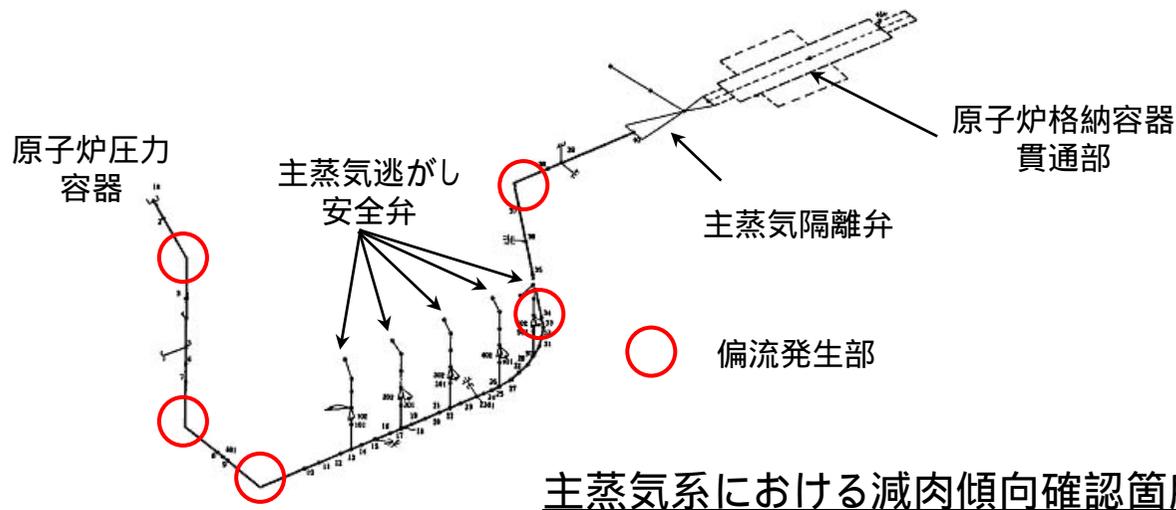
- ✓ 耐震安全上重要な配管系は、日本機械学会「配管減肉管理に関する技術規格」においては、管理ランク「FAC-1*」または管理対象外に分類
- ✓ 減肉形態としてはFACに着目することとし、管理対象外の系統も含めて、炭素鋼製配管を有する系統を評価対象とする
- ✓ ただし、常時「待機」状態にある系統は、運転時間が短く、顕著な減肉が生じる可能性は十分小さいため、対象から除外

* : 酸素注入によりFACによる減肉を抑制している範囲や、湿り度の低い(FAC発生可能性の低い)主蒸気系の蒸気単層の範囲

経年劣化事象を考慮した設備健全性評価 (配管減肉の評価方針)

■ 評価の概要

- ✓ これまでの保全実績調査、必要に応じた追加点検により、エルボ、ティ等の偏流発生部における減肉傾向の有無を確認する



KK-7号機における検討内容

■KK-7号機においては、検討対象事象について以下の検討を行う

(1) SCC

KK-7号機の炉心シュラウド等の至近の点検でSCCは確認されていないため、KK-2/3号機の炉心シュラウド等を代表としてSCCへの地震影響について検討

(2) 低サイクル疲労

原子炉圧力容器 (RPV)、RPVバウンダリ配管などから代表設備を選定して、疲労評価を実施する

(3) 配管減肉 (FAC)

主蒸気系、給水系配管などの炭素鋼製配管について、保全実績調査、追加点検により減肉傾向の有無を確認する