

耐震計算科学への期待 - 新潟県中越沖地震を受けて -

山下 和彦

東京電力株式会社 原子力設備管理部 新潟県中越沖地震対策センター
〒100-8560 東京都千代田区内幸町 1-1-3
yamashita.kazuhiko@tepcoco.jp

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所が被災し、現在は全号機が停止した。しかしながら、地震発生時に運転および起動中だった4プラントはいずれも安全に停止することができ、現在は全号機が冷温停止状態にある。また、原子力安全にとって最も重要な機能である「止める」「冷やす」「閉じ込める」の機能は確保されており、地震後のウォークダウン点検によっても、安全上重要なAs・Aクラスの設備に損傷は確認されていない。

2008年12月現在、当社では保安規定に定める「特別な保全計画」、および原子力安全・保安院からの指示に基づく「点検・評価計画書」を策定し、新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所内の重要設備について点検および解析を実施中である。ここで、「特別な保全計画」とは、現在進められている保存プログラムの継続的改善(新検査制度)のプロセスにおいて、地震等によりプラントを長期停止させる場合に保安規定(保全計画)の一部として国に提出し、国の事前確認を受けるものであるが、平成21年1月1日に予定されている省令施行に先立ち、柏崎刈羽原子力発電所では既に「特別な保全計画」を含む保全活動が国の確認対象となっていることが特色となっている。

一方、点検と併せて新潟県中越沖地震観測記録に基づく解析による建屋・機器・配管系の評価も進められている。新潟県中越沖地震の観測波は、建設時に想定されていた基準地震動S2を一部で上回るものだったにもかかわらず、現在までに実施した7号機地震応答解析による機器・配管系の評価では、地震により発生した応力はいずれも評価基準値以下であることが確認されている。今後は、新たに基準地震動Ssを策定し柏崎刈羽原子力発電所の耐震安全性を再評価するとともに、原子炉建屋基礎版上で1000galという基準地震動Ssを上回る耐震強化工事用の地震動に基づく耐震強化工事も実施することとしている。ここで、現行の耐震解析においては、各機器が設計時から有している地震力に対する裕度や、機器に対して設定された許容値や解析手法そのものに起因する保守性を有するものと考えられ、これらの保守性をより精密に把握することが、今後の評価において重要になると考えられる。

これらの状況を鑑み、計算科学の分野における当社の取り組みを紹介する。一つは、質量と剛性を工学的に集約したバネ・マスモデルによる現行の耐震解析に対して、機器の実形状を3次元で模擬したFEMによる直接応答解析の試みである。安全上重要なAs・Aクラス設備の評価においては、解析による健全性評価結果を広く一般に「見える化」することが重要であり、また、直接応答解析により現行の耐震安全性評価に含まれる余裕を明らかにすることが期待できる。さらに、新潟県中越沖地震により損傷が確認された屋外のCクラス設備に対しても、より実現象に近い3次元解析によって損傷に係る事象とその原因を明らかにし、設備強化に資することが期待できる。

もう一つは、保全IT化の試みである。前述の「特別な保全計画」を始めとする発電所の保全活動において国の確認を受けるにあたっては、膨大な設備データと保全作業の工程や予算を管理し、保全活動のPDCAサイクルを運用するためのデータベースの構築と運用が不可欠である。当社では現在、保守・予算管理システムの構築と運用を進めており、将来は機器・配管系の3次元形状および属性まで含めたデータベースの集積により、一種の仮想プラントともいえるデータウェアハウスシステムの構築を構想している。プラント丸ごとのデータを用いたシミュレーションにより、運転時間および環境による設備の劣化診断を行うことで、点検周期管理への反映と適切な合理化を図ることができると期待される。

耐震計算科学研究への期待

- 新潟県中越沖地震を受けて -

平成20年12月3日
山下 和彦
東京電力株式会社
原子力設備管理部
新潟県中越沖地震対策センター所長

本書の内容を本来の目的以外に使用することや、当社の許可なくして複製・転載することはご遠慮下さい。
東京電力株式会社



東京電力

本日の報告内容

1. 新潟県中越沖地震について
2. プラント健全性評価の現状
 1. 点検・評価計画書と「特別な保全計画」
 2. 保全プログラムの継続的改善(新検査制度)について
 3. 設備点検の状況
 4. 解析の状況
3. 柏崎刈羽原子力発電所における耐震安全性の再評価
 - 新しい基準地震動(S_s)の策定について
 - 耐震強化工事の状況について
4. 耐震解析の保守性について
5. 計算科学分野における当社の取り組み
6. まとめ

新潟県中越沖地震の概要

- 発震日時；2007年7月16日10時13分頃
- 震源位置；上中越沖 北緯37度33.4分，東経138度36.5分
- 深さ；17km
- 気象庁マグニチュード；M=6.8
- 柏崎刈羽原子力発電所まで；震央距離：16km，震源距離：23km
- 震度；震度6強：柏崎市，刈羽村，長岡市，
震度6弱：上越市，小千谷市，出雲崎町



原子炉建屋基礎版上における観測加速度

号機	水平-NS	水平-EW	鉛直
1	311(274)	680(273)	408(235)
2	304(167)	606(167)	282(235)
3	308(192)	384(193)	311(235)
4	310(193)	492(194)	337(235)
5	277(249)	442(254)	205(235)
6	271(263)	322(263)	488(235)
7	267(263)	356(263)	355(235)

1, 5, 6号機は停止中
2, 3, 4, 7号機は自動停止

単位:gal (cm/s²)
括弧内は設計値

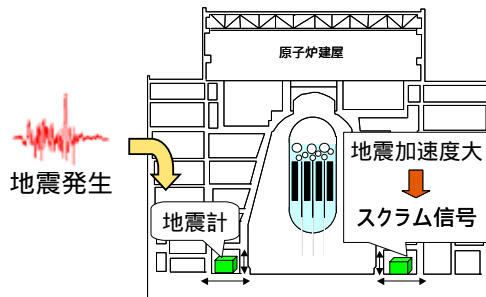
地震時および地震後のプラントの状況

		1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機	
地震発生時の状況	運転状況	定検中 (定検中期)	定検中 (起動中)	運転中	運転中	定検中	定検中	運転中	
	自動停止	-				-	-		
	原子炉の状況	燃料の所在	全燃料取出中 (燃料プール)	炉内	炉内	炉内	炉内	炉内	炉内
		圧力容器上蓋	開	閉	閉	閉	閉	閉	閉
		格納容器上蓋	開					開	
ウェルカバー		開	開						
地震発生後の状況	運転状況	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	冷温停止中	
	燃料プール水の溢れ	有	有	有	有	有	有	有	
	放射性物質の放出	-	-	-	-	-	ケーブル貫通部経由で燃料プール水が系外へ放出 (7/16)	タービン軸封部から排気筒へ放出 (7/17)	
	火災と主な漏れ	原子炉建屋外周部に消化水流入 2,000m ³ (7/16)	-	所内変圧器火災 (7/16)	タービン建屋海水漏えい 24m ³ (7/16)	-	-	-	

原子力安全の確保

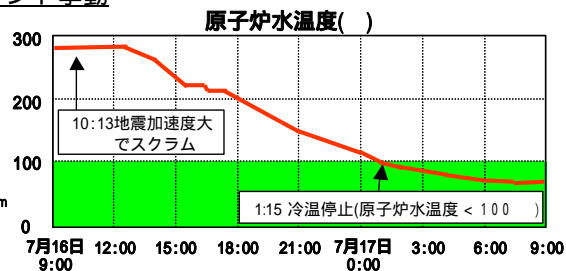
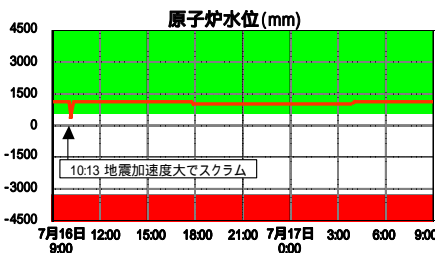
■原子力安全にとって最も重要な機能

- 「止める」
スクラム 全制御棒全挿入



- 「冷やす」
原子炉水位を確保
原子炉水：100 未満，原子炉圧力：大気圧 冷温停止

7号機のプラント挙動



- 「閉じ込める」
燃料及び被覆管，圧力容器は健全 環境への影響無し

設計通りのプラント挙動と運転員の冷静・的確な操作により安全を確保

新潟県中越沖地震によるトラブル(不適合)

■新潟県中越沖地震による約3,600件のトラブル(不適合)を確認

区分	定義	地震による主な不適合	発生件数
As	法令、安全協定に基づく報告事象 性能に重大な影響を与える事象 等	3号機所内変圧器の火災 オペレーティングフロアの水 漏れ 等	10
A	品質保証の要求事項に対する重大な 不具合事象 等	主排気ダクトのずれ ドラム缶の転倒 等	36
B	品質保証の要求事項に対する不具合 事象 等	展望台斜面の土砂崩れ 変圧器周辺防油堤の沈下 等	39
C	品質保証の要求事項に対する軽微な 不具合事象 等	重要度の低い配管の変形 コンクリートの軽微なひび 等	1,197
D	通常のメンテナンス範囲の事象 等	ネジの外れや変形 一般照明の不具合 等	2,314

新潟県中越沖地震による被災事例(1)



所内変圧器の火災

[reference]
9th Regional Coast Guard Headquarters



所内変圧器外観

新潟県中越沖地震による被災事例(2)



構内道路の損傷（放水口付近）



構内道路の損傷（開閉所付近）

新潟県中越沖地震による被災事例(3)



1号機軽油タンクの損傷

新潟県中越沖地震による被災事例(4)



固体廃棄物貯蔵施設におけるドラム缶の転倒

地震後のウォークダウン点検による機器の状況

- 耐震設計は指針による安全上の重要度に基づきなされる
- 安全上重要な **As / Aクラスの設備に損傷は確認されていない**
- しかしながら，B / Cクラスの設備については損傷が確認されている

耐震クラス	設備の例	損傷
As*1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 原子炉圧力容器 ■ 原子炉格納容器 ■ 制御棒 	無
A*1	<ul style="list-style-type: none"> ■ 非常用炉心冷却系 ■ 原子炉建屋 	無
B	<ul style="list-style-type: none"> ■ タービン設備 ■ 放射性廃棄物処理系 	原子炉建屋天井クレーンジョイント部
C	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主発電機 ■ 変圧器 ■ 所内ボイラー 	所内変圧器，主排気筒ダクト，消火系配管など

*1: 2006年に策定された新指針では，AsとAクラスはSクラスに統一されている

耐震Cクラス設備の損傷について

加速度による損傷

例) ろ過水タンク

- ✓ 座屈
- ✓ 基礎ボルトの損傷

相対変位や地盤沈下による損傷

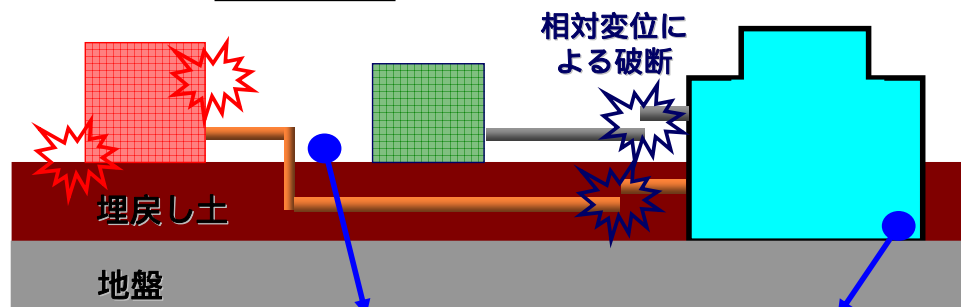
例1) 所内変圧器

- ✓ 沈下による接続母線部の移動
- 例2) 消火配管
- ✓ 損傷

建屋内設備 殆ど損傷無し

Class As,A,B

Class C

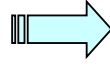


地上での加速度 : Max. 1223 Gal

R/B 基礎版上 : Max. 356 Gal

Cクラス設備の損傷事例(1)：ろ過水タンク

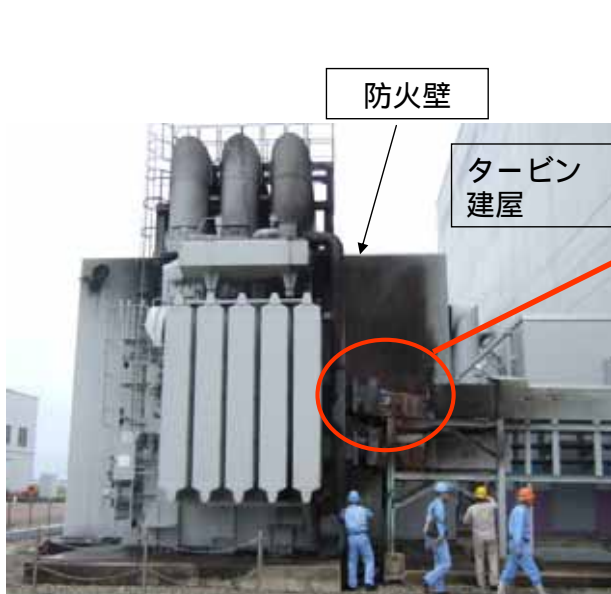
加速度による損傷の例



基礎ボルト及びブラケットの損傷 ろ過水タンクからの漏えい

Cクラス設備の損傷事例(2)：変圧器

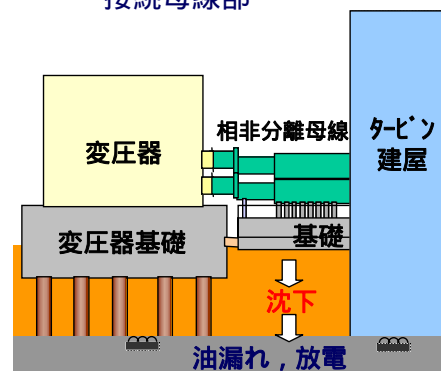
相対変位や地盤沈下による損傷の例



3号機所内変圧器の火災



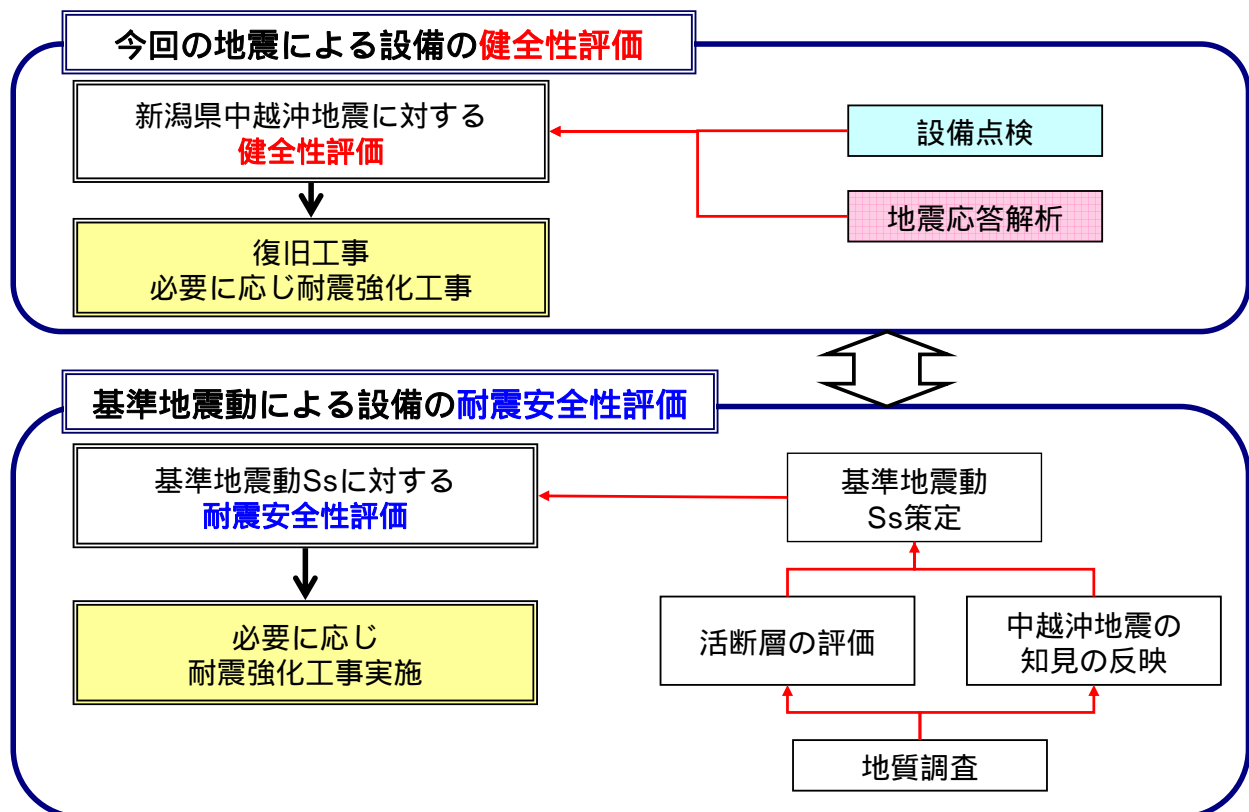
接続母線部



2. プラント健全性評価の現状

2.1 点検・評価計画書と「特別な保全計画」

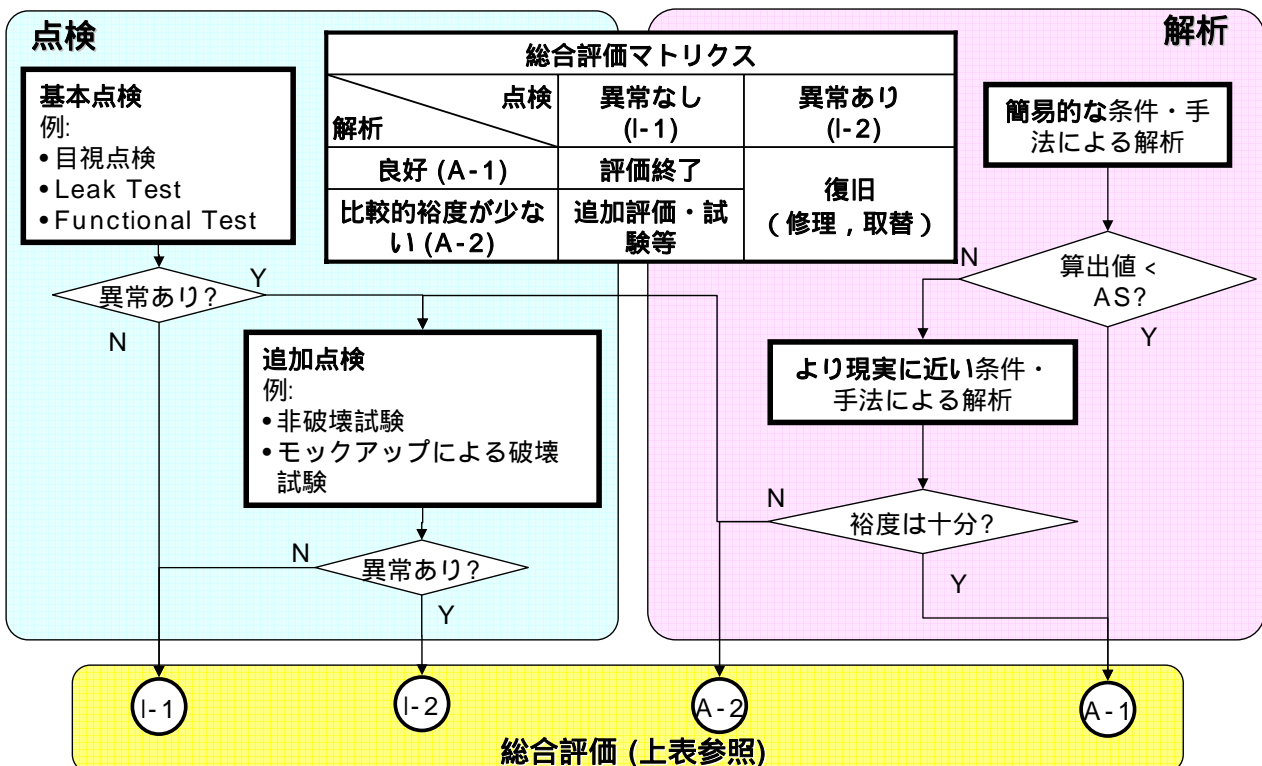
地震後のアクションプラン



点検・評価計画書

- 地震後の保全活動全般については、保安規定に定める「**特別な保全計画**」を策定し実施
 (主要対象機器：熱交換器140基、ポンプ350台、弁15,000個等)
 (110万kWクラスの例)
- このうち、工事計画書対象設備については、原子力安全・保安院からの指示*に基づき、「**点検・評価計画書**」を策定
 *原子力安全・保安院指示文書：「新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所の設備の健全性に係る点検・評価計画について」(平成19年11月9日付)
- この計画に基づき、現在、号機ごとに点検および地震応答解析を実施中
 - 点検及び地震応答解析については、非破壊検査手法、詳細評価手法等に最新の技術、知見を取り入れ、様々な手法で実施中

安全上重要な設備の点検・評価

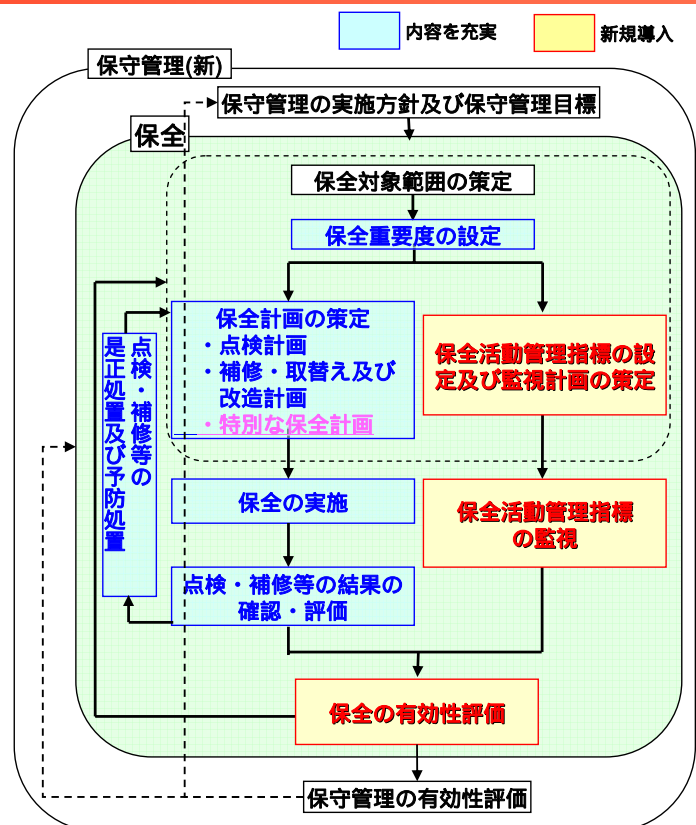


2.2 保全プログラムの継続的改善(新検査制度)について

保全プログラムの継続的改善(新検査制度)

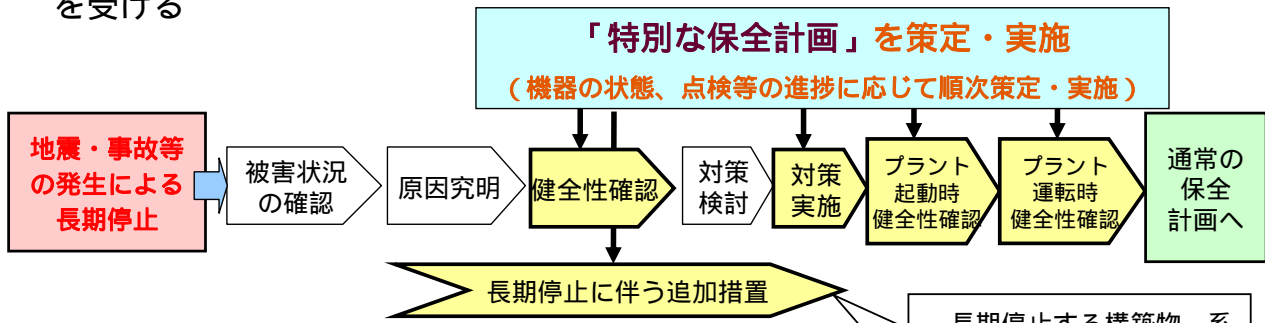
保全プログラム充実のポイント

- 現状保全をベースに「適切な機器を、適切な時期に、適切な方法で」保全する仕組みを確立し、保全の最適化を図る。
- 保全活動から得られる各種データ（As-foundなど）を基にして、自らPDCAを重ねながら継続的改善を図る。
- 保全活動管理指標を用いた保全の有効性評価により、保全活動の見える化を進める。
- なお、地震・事故等による長期停止に伴う「特別な保全計画」の策定は従来から行っている活動をベースにして、要求事項を明確化



特別な保全計画

- 新検査制度においては、地震等によりプラントを長期停止させる場合、保安規程（保全計画）の一部として「特別な保全計画」を国に届出し、国の事前確認を受ける



「特別な保全計画」の記載事項

- 対象とする機器又は系統名
(健全性確認では影響が考えられる範囲を対象とする)
- 実施内容；点検の具体的方法、評価方法及び管理基準
(最終的には技術基準適合性を確認)
- 点検の実施時期
実施体制・記録管理等についても概要を記載
(補修工事等の計画は「補修、取替え及び改造計画」に記載)

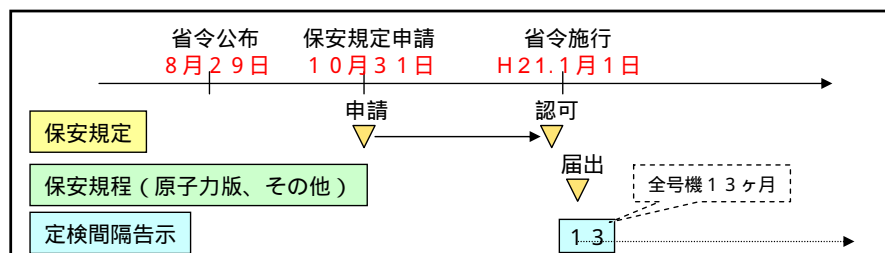


新検査制度への移行スケジュール

- 保安規定の変更申請、ならびに保安規程の届出等のタイミング

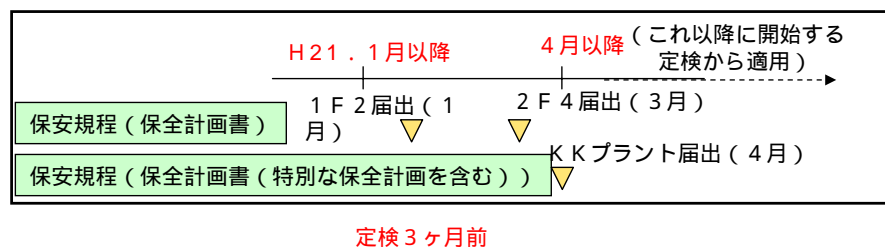
省令公布～施行

- ・保守管理の体系整備
- ・運転期間13月を設定
- ・長期保守管理方針を記載
(PLM実施済プラントのみ)



来年1月以降

- ・各号機の初回の保全計画書は定検開始3ヶ月前に届出し、適用開始
- ・KKは保全計画書（特別な保全計画を含む）を4月に届出し、適用開始



柏崎刈羽原子力発電所は省令施行に先立ち、既に特別な保全計画を含む保全活動が確認対象となっている



2.3 設備点検の状況

設備点検の状況(1)

- 7号機について工事計画書記載の設備を点検
- 動的機器・静的機器・支持構造物等 4 2 機種に分類し，機種毎に損傷形態に応じた点検方法を選定し，点検実施

7号機設備点検の状況（平成20年9月19日現在）

		完了数/計画数	
基本点検 機器	目 視	約 1,360/1,360	(100%)
	作動試験・機能試験	約 940/1,000	(94%) *1
	漏えい試験	約 460/610	(75%) *1
	基本点検完了	約 1,190/1,360	(88%) *1
うち 原子炉安全上 重要な機器	目 視	約 640/640	(100%)
	作動試験・機能試験	約 430/450	(96%) *1
	漏えい確認	約 240/350	(69%) *1 *2
	基本点検完了	約 530/640	(83%) *1
追加点検	-	約 240/240	(100%)

* 1：作動試験および漏えい試験等終了していない機器があるが，これらは原子炉压力容器漏えい試験，主タービン復旧後のタービン設備の作動試験，核計装設備の機能確認試験等である。

* 2：原子炉压力容器漏えい試験は，別途実施する規定圧力（運転時圧力）による漏えい確認に先立ち，地震の影響による不適合の早期発見の観点から，規定圧力の半分の圧力にて漏えい確認を実施し，異常のないことを確認した。

設備点検の状況(2)

■ 7号機設備点検の結果(まとめ)

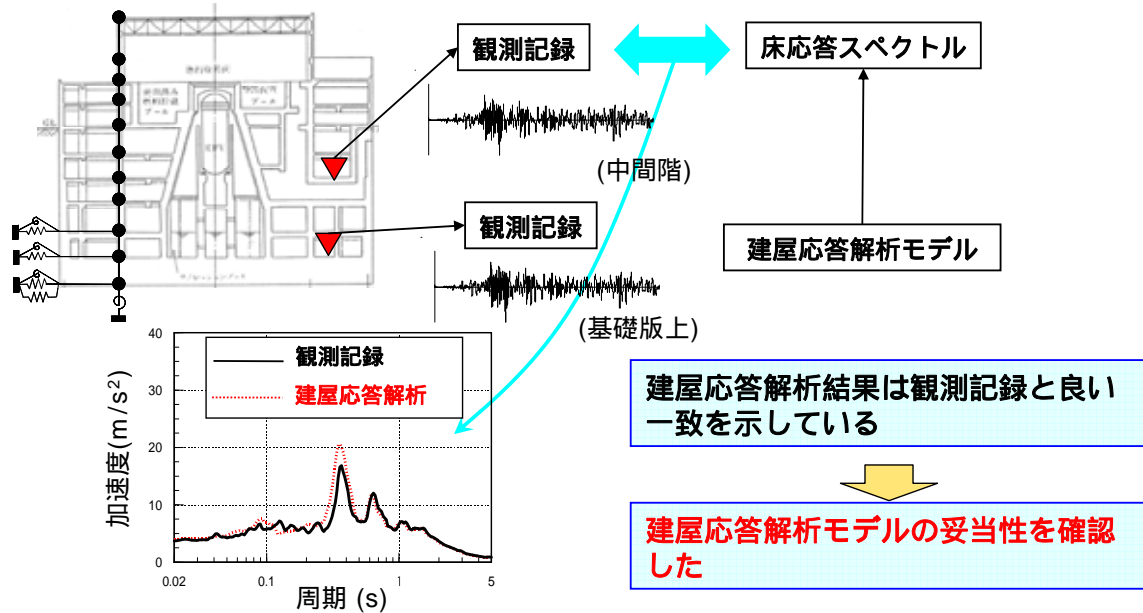
- 「異常あり（不適合）」と判定された機器は**71機器**であるが、原子炉安全上重要な機器については、構造強度や機能を阻害するような**重大な損傷は確認されていない**。
- 回転機器の振動診断評価について
地震前後の**振動診断において**、また、定期的に振動測定をしている結果からも、本地震後において振動値が上昇傾向を示す等の**異常兆候はみられていない**。
ポンプ、ファン等の回転機器については、作動試験時の振動データ（ポンプ、ファンの軸受等の温度がほぼ安定した状態で採取した振動値）の状態変化を確実に検出するため、地震前過去5回程度の測定値の履歴を確認し、バラツキを考慮しつつ異常の有無の確認を行った結果、異常は見られていない。
- 塑性ひずみ測定について
配管の追加点検において、**硬さ測定**による塑性ひずみの有無を確認した結果、疲労強度に影響を与えるような**塑性ひずみは発生していない**ことを確認。

2.4 解析の状況

解析の状況(1)：観測記録の評価

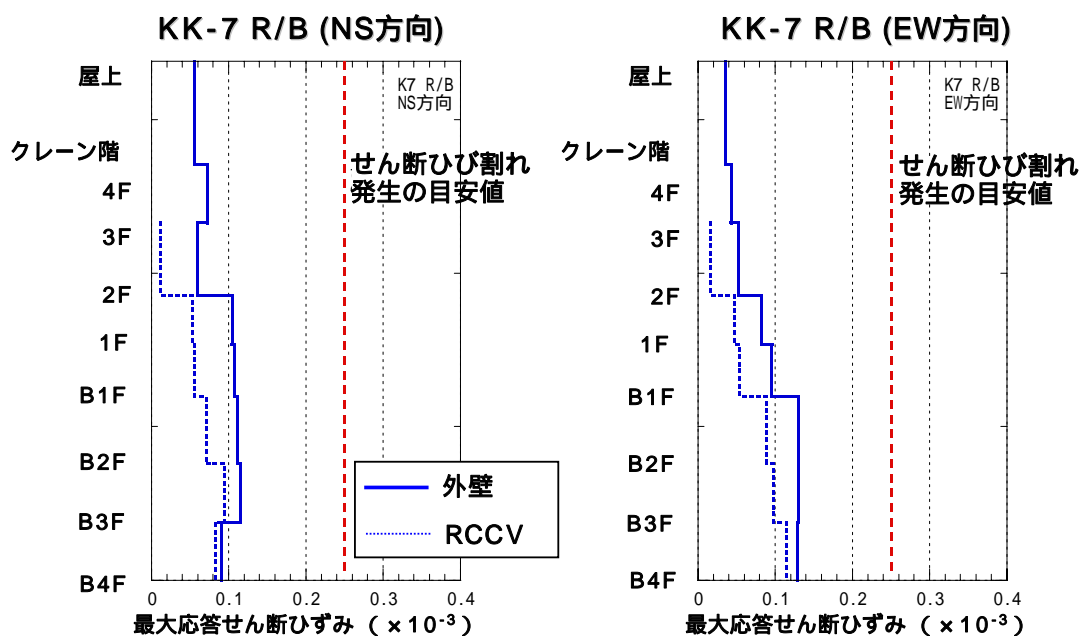
- 原子炉建屋では、1～7号機全てにおいて、基礎版上と中間階の2点で観測記録が得られている
これを基にシミュレーション解析を実施

- 建屋応答解析による観測記録の評価の例；



解析の状況(2)：建屋応答解析

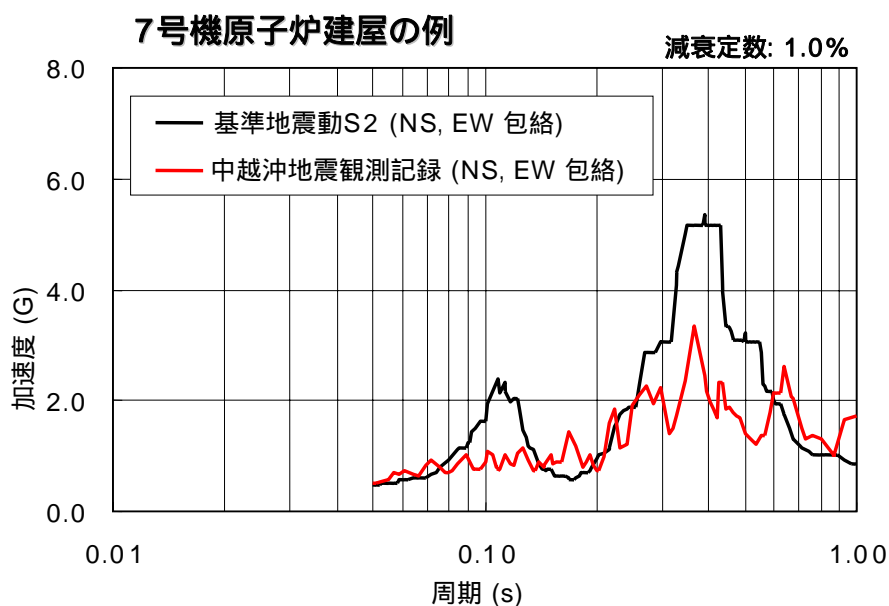
- 原子炉建屋地震応答解析結果(7号機最大応答せん断ひずみ)



原子炉建屋のせん断ひずみは評価基準値を下回ることを確認した

解析の状況(3)：建屋応答解析(床応答スペクトル算出)

- 設備の地震応答解析に用いる床応答スペクトルを算出



7号機基準地震動S2の床応答スペクトルは新潟県中越沖地震を概ね内包していることを確認した

解析の状況(4)：機器・配管系評価

- 設備の地震応答解析の概要

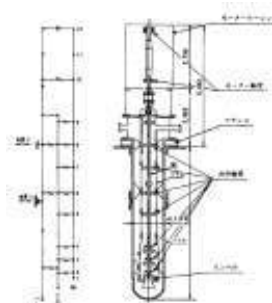
- 構造強度評価

- ◆ 評価基準値：許容応力状態 A_S における許容値(総体的に弾性範囲)
- ◆ 評価部位
 - 許容値に対して比較的余裕の少ない部位
 - 地震の影響を受けやすい支持部 (基礎ボルト, 脚等)

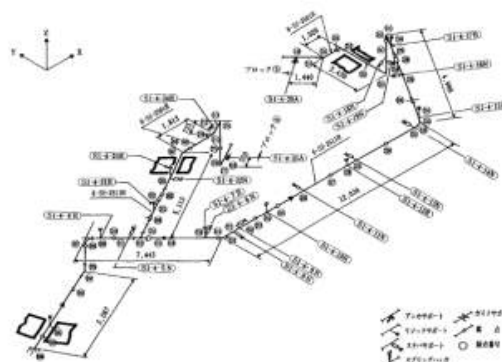
- 動的機能維持

- ◆ 新潟県中越沖地震による設備応答加速度が, 予め試験等で定められた機能確認済加速度より小さいことを確認

- 設備の地震応答解析モデル(例)



(立形ポンプ)



(配管)

解析の状況(5)：7号機代表設備評価結果

■構造強度評価(抜粋)

要求機能	設備	項目	算出値[MPa]	評価基準値[MPa]
冷やす	主蒸気系配管	応力	136	281
	残留熱除去系配管	応力	239	274
	残留熱除去系ポンプ (基礎ボルト)	応力	5	350
閉じ込める	原子炉圧力容器 (基礎ボルト)	応力	115	499
	炉心支持構造物 (シュラウドサポートレグ)	応力	32	243
	原子炉格納容器 (ドライウェル上鏡)	応力	27	264

■動的機能維持(抜粋)

要求機能	設備	項目	算出値	評価基準値
止める	制御棒挿入性	変位	7.1 (mm)	40.0 (mm)
冷やす	残留熱除去系ポンプ	加速度	0.37 G (H)	10.0 G (H)
			0.37 G (V)	1.0 G (V)

解析の状況(6)：7号機評価結果と他号機の状況

■7号機地震応答解析結果(まとめ)

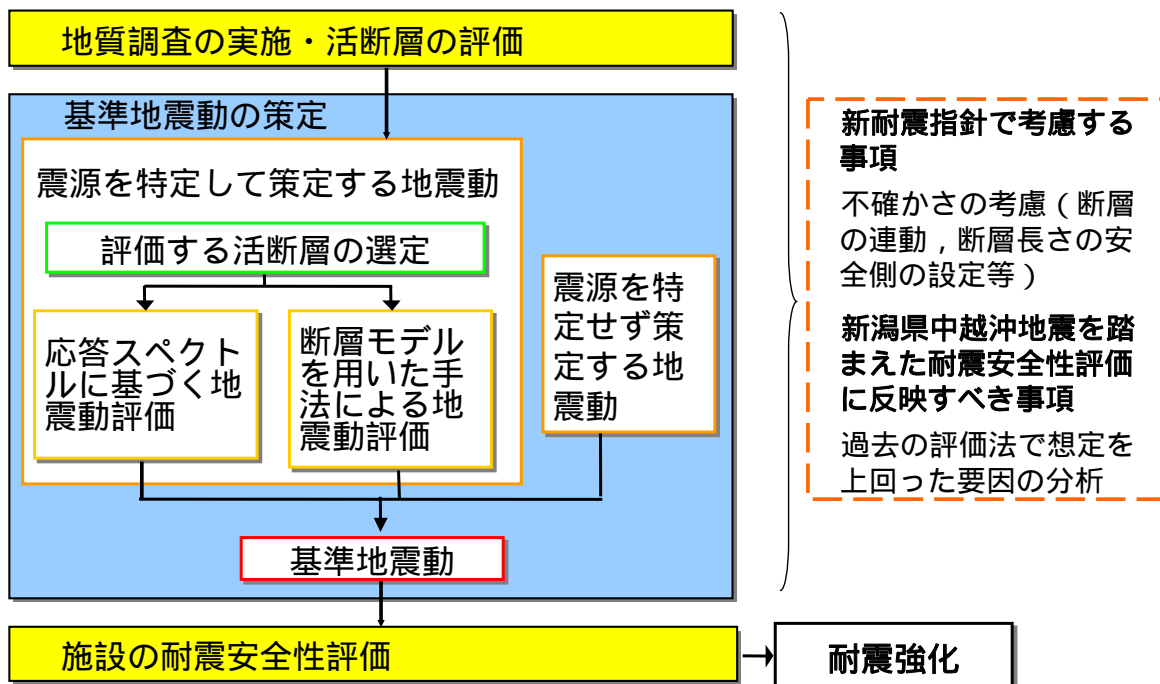
- 構造強度の評価結果より，機器・配管系の算出値はいずれも評価基準値以下であることを確認
- 地震による建屋間相対変位を含む1次+2次応力が厳しくなる設備を選出し疲労評価を実施した結果，本地震による疲れ累積係数と通常運転（40年）による疲れ累積係数の和は，評価基準値を十分下回っていることを確認
- 動的機器の応答加速度は，いずれも機能確認済加速度以下であることを確認

■他号機の状況

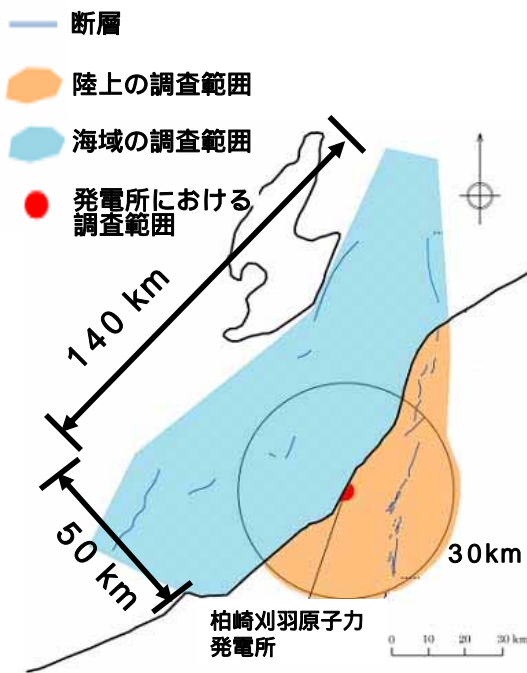
- 1号機：代表設備について完了
- 6号機：原子炉建屋内の機器について完了
- 2～5号機：順次実施予定

3 . 柏崎刈羽原子力発電所における耐震安全性の再評価

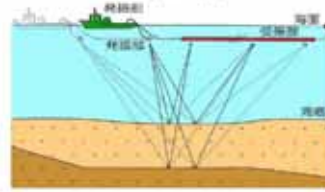
新しい基準地震動(Ss)の策定(1) : 基準地震動策定の流れ



新しい基準地震動(Ss)の策定(2) : 地質調査

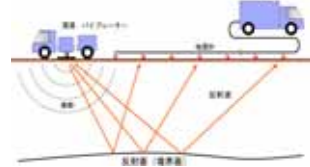


■ 海域調査



海上音波探査

■ 陸域調査



反射法地震探査

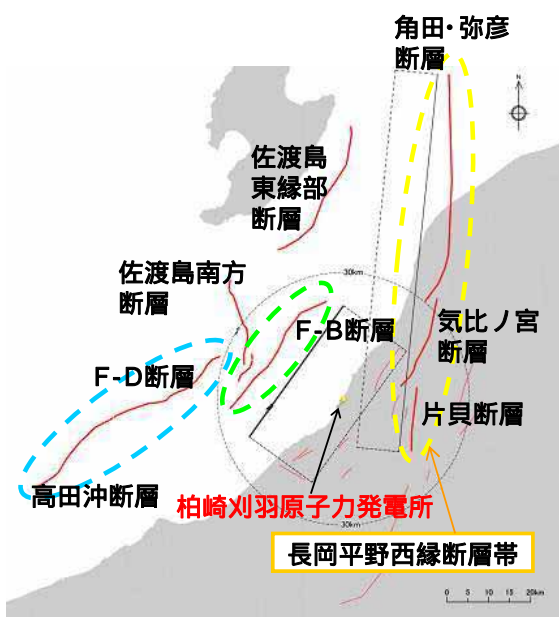
■ 発電所内の調査



ボーリング調査

新しい基準地震動(Ss)の策定(3) : 不確かさの考慮

■ 不確かさを考慮し、断層の連動，断層長さの安全側の設定等を実施

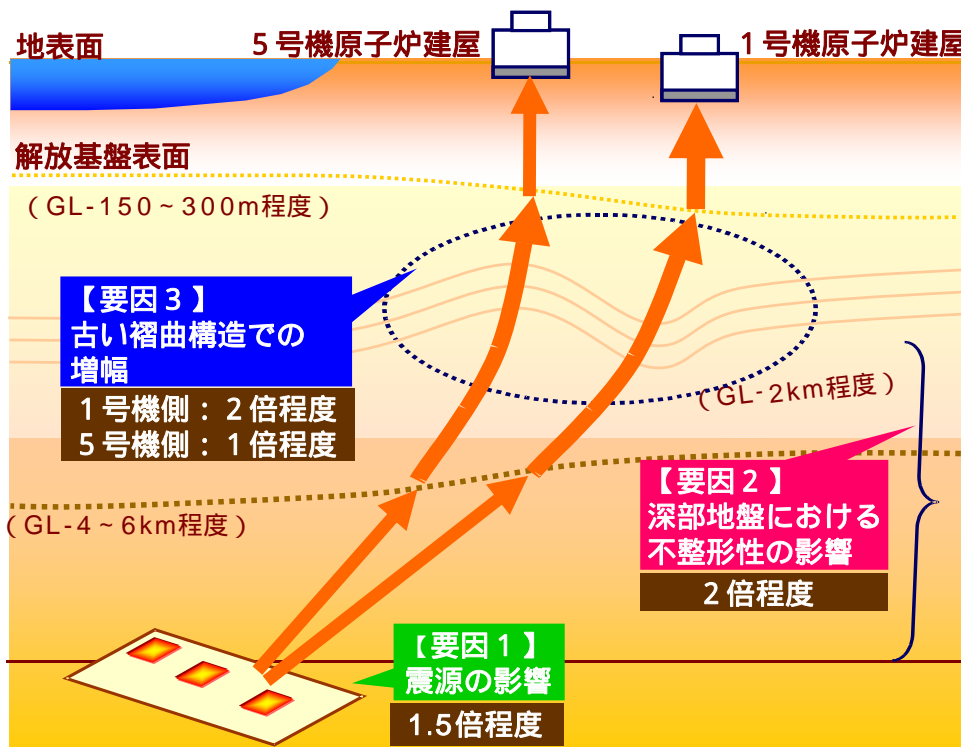


■ 主な活断層の調査結果

	断層名	断層長さ (設計時)	断層長さ (調査後)
海域	佐渡島榎東縁断層	27km	37km
	F-B断層	(活断層でない)	36km
	佐渡島南方断層	-	29km
	F-D断層	(活断層でない)	55km
	高田沖断層	29km	
陸域	角田・弥彦断層	-	91km
	気比ノ宮断層	18km	
	片貝断層	10km	

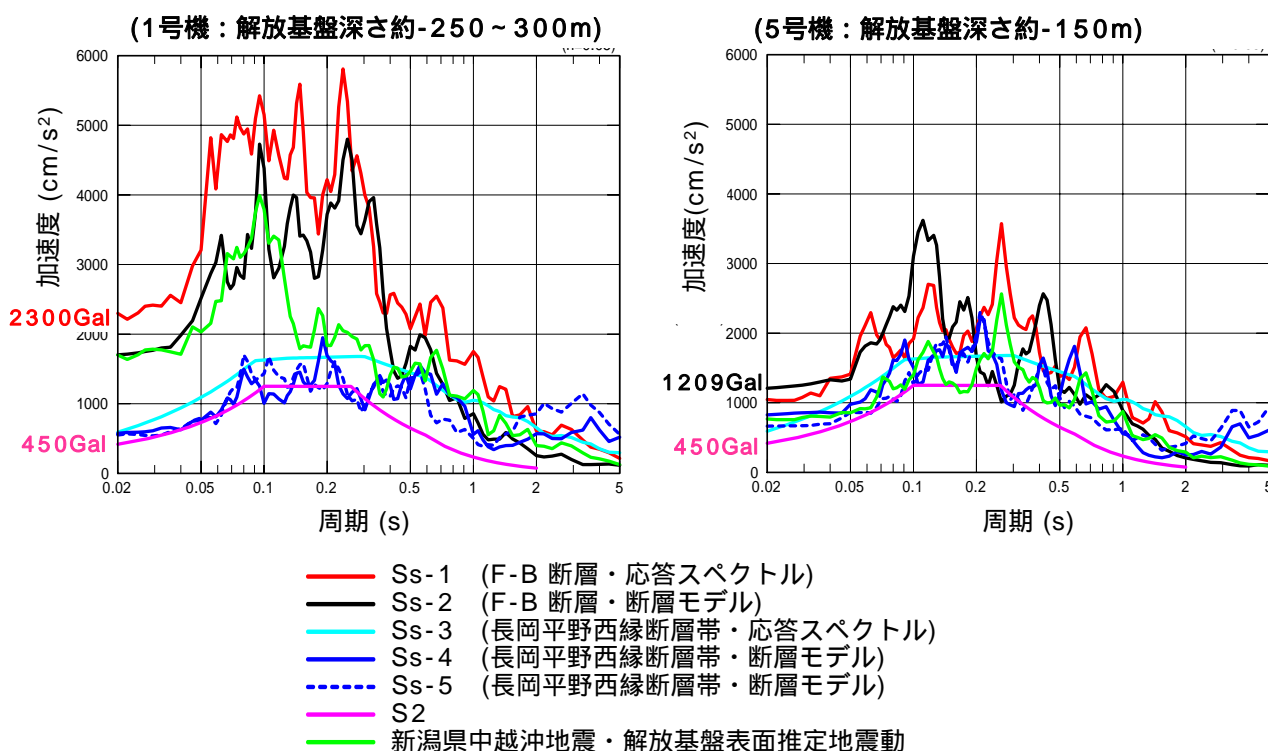
新しい基準地震動(Ss)の策定(4)：地震動が大となった要因

■新潟県中越沖地震が過去の評価法による想定を上回った要因を分析し反映



新しい基準地震動(Ss)の策定(5)：基準地震動策定結果

■基準地震動応答スペクトル(解放基盤表面)



基準地震動(Ss)と耐震強化工事用地震動

■耐震強化工事のための地震動は全号機について基礎版上で1000galと設定

単位：Gal



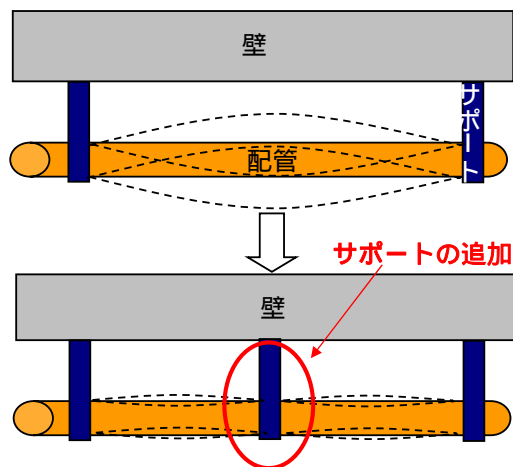
原子炉建屋基礎版上	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
新潟県中越沖地震 (観測記録)	680	606	384	492	442	322	356
基準地震動 Ss による応答	845	809	761	704	606	724	738
耐震強化工事のための地震動	1,000						

解放基盤表面	1号機	2号機	3号機	4号機	5号機	6号機	7号機
基準地震動 S ₂ 最大値	450			450			
基準地震動 Ss 最大値	2,300			1,209			

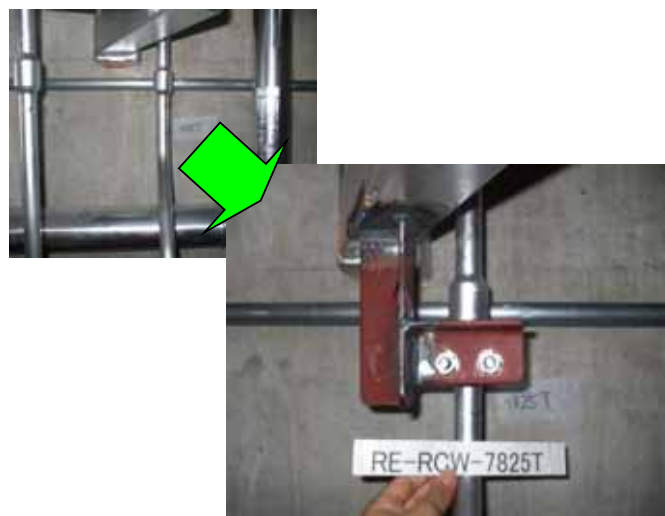
耐震強化工事の例(1)：配管サポート追加工事

■配管サポート追加により配管の揺れを低減

〔配管サポート追加のイメージ〕



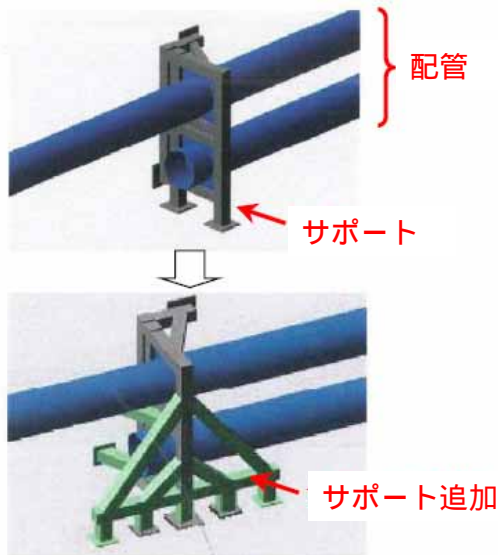
〔施工例〕



耐震強化工事の例(2) : 配管サポート強化工事

■ 配管サポート強化により強固な構造へ変更

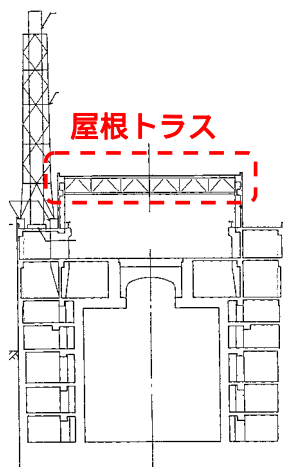
〔配管サポート強化のイメージ〕



〔施工例〕



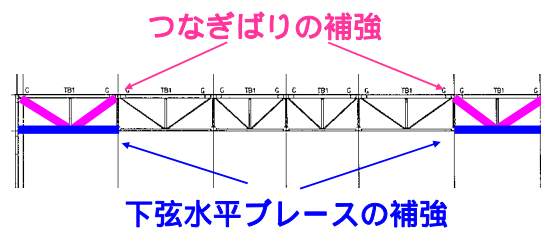
耐震強化工事の例(3) : 原子炉建屋屋根トラス強化工事



6, 7号機原子炉建屋断面図



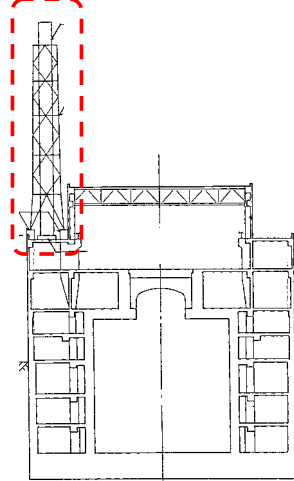
原子炉建屋屋根トラス



原子炉建屋屋根トラス強化工事の例

耐震強化工事の例(4)：主排気塔強化工事

排気筒

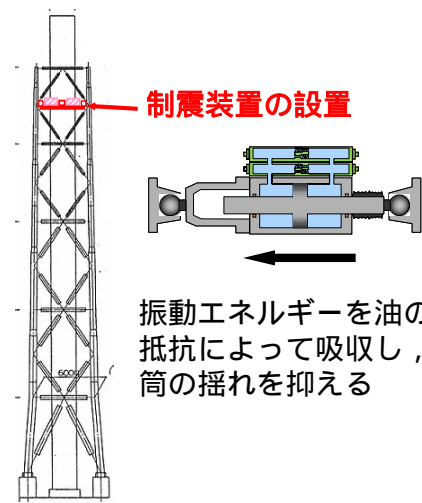


6.7号機原子炉建屋断面図

排気筒



排気筒



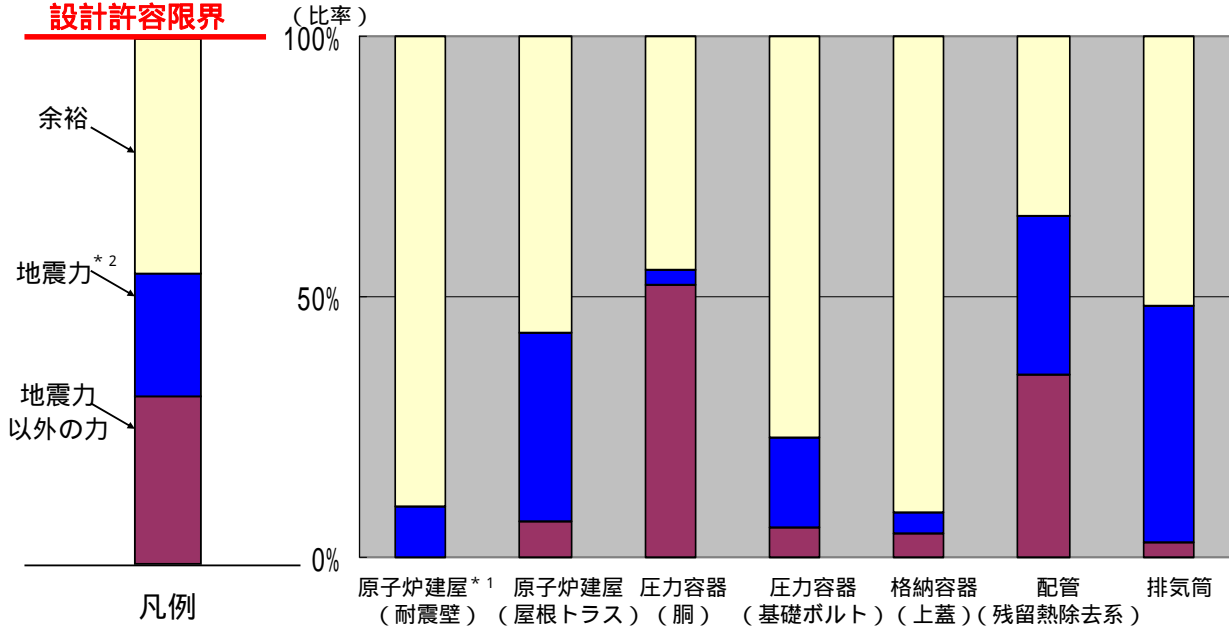
排気筒の強化工事の例

4 . 耐震解析の保守性について

新潟県中越沖地震時の地震力に対する裕度

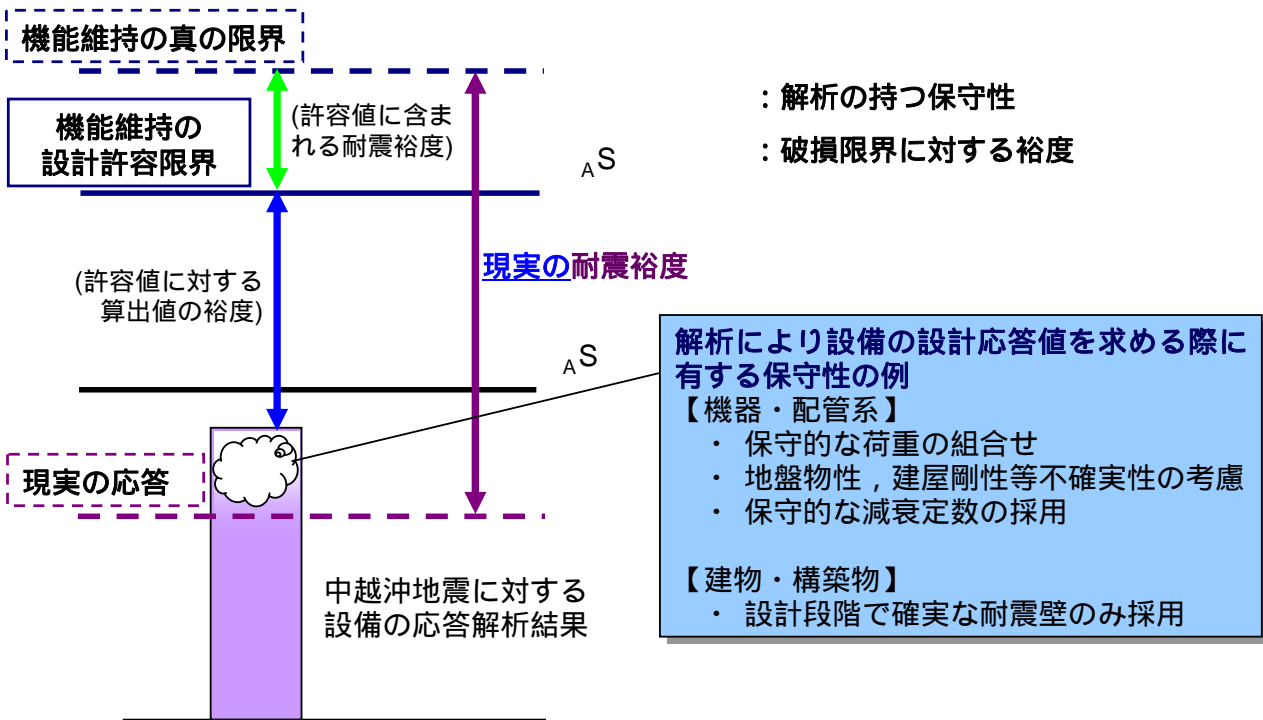
■ 7号機の例

設計許容限界



* 1 : 建屋は、設計上のせん断ひずみ限界値。なお、建屋以外は、許容応力値。
 * 2 : 格納容器を除き、中越沖地震の評価は、**設計上保守的に見込んでいた要素のうち補助壁、コンクリート強度、床応答スペクトルの拡張、水平上下の応力の組合せ等を現実ベースに置き換え実施。**(時刻歴ではなく最大加速度での評価等の保守性は含まれている)

現実の破損限界に対する許容値の保守性



設備の応答値と設計許容限界等との関係 (イメージ)

静的解析の保守性

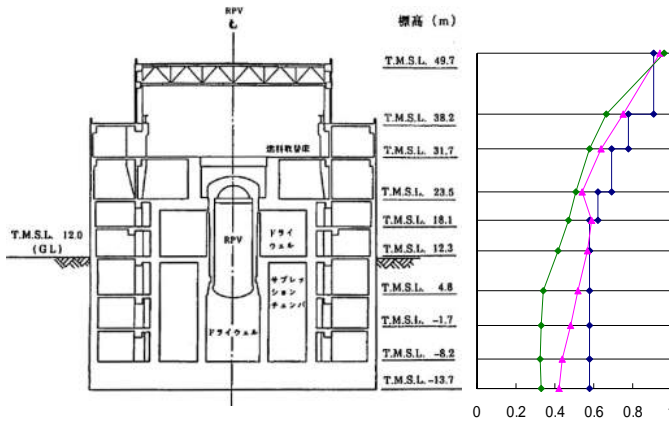
- 耐震クラスAs, Aは, S1より算定される設計用最強地震による地震力または静的地震力のいずれか大きい方の地震力に耐える設計
- 静的地震力は, 建築基準法で定める震度の3倍で建屋の評価。さらにその1.2倍で機器・配管系の評価

ex.例えば静的水平地震力は下記水平震度より求める。

$$\text{水平震度} = 3.0CI (\text{層せん断力係数}) \times 1.2 \quad \dots \text{式(1)}$$

$$CI(\text{せん断力係数}) = Rt \cdot Ai \cdot CO \quad \dots \text{式(2)}$$

Rt: 建物・構築物の振動特性係数 (= 0.8), Ai: せん断力係数の高さ方向の分布係数,
CO: 標準せん断力係数 (= 0.2)



- : S2による最大応答加速度 × 1.2
- : 中越沖地震による床の最大応答加速度 × 1.2
- : 機器・配管系評価に用いる静的水平震度

S2・中越沖地震による床加速度および
静的水平震度 (7号機原子炉建屋)

5 . 計算科学分野における当社の取り組み

計算科学分野における当社の取り組み

■ 3次元FEM解析による直接応答解析の試み

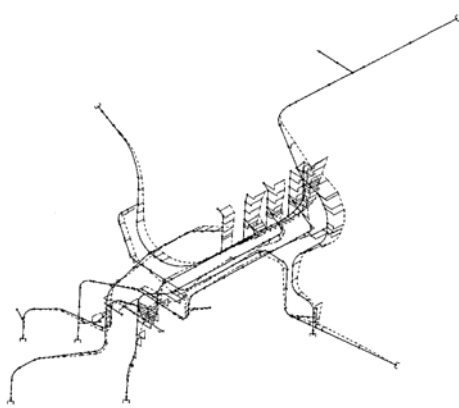
耐震クラス	対象設備(例)	目的
A・As (S)	<ul style="list-style-type: none"> ■原子炉圧力容器及び炉内構造物 ■主要配管、等 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新潟県中越沖地震を受けたAs,Aクラス設備について、健全性評価結果を広く一般に「見える化」すること 2. より精度の高い解析により現行の耐震安全性評価(解析)に含まれる裕度を明らかにすること
B・C	<ul style="list-style-type: none"> ■天井クレーン(Bクラス) ■消火系設備(Cクラス) ■ろ過水タンク(Cクラス)、等 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新潟県中越沖地震において損傷が確認された設備について、発生した事象とその原因を明らかにすること 2. 当社の自主的対応として強化する設備について、基準地震動Ss条件での実働性の維持を確保すること

■ 保全IT化/発電所設備資産管理(EAM/CMMS)の試み

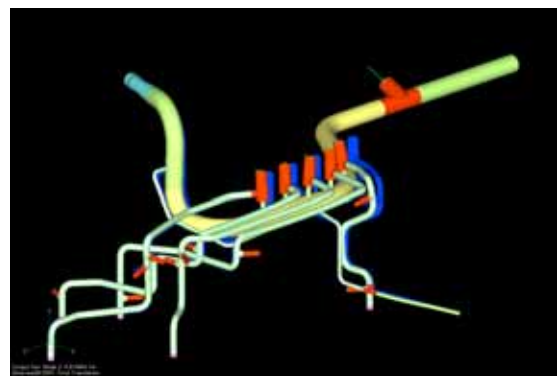
- 対象設備：プラント内の全て設備
 - 目的：保全業務の効率化と新検査制度への対応
- 将来は計算機内部に**仮想プラント**を構築、劣化評価・予測等に資することを想定し、拡張について検討中



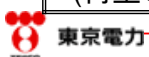
3次元FEM解析の例(1)：7号機主蒸気系配管解析



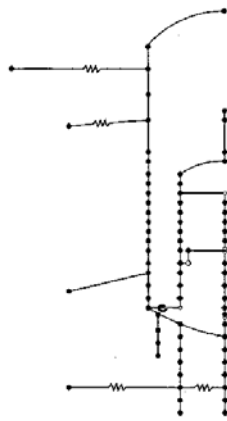
見える化



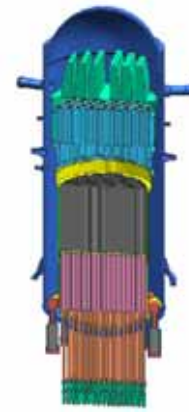
〔現行解析モデル〕	解析モデル	〔3次元FEMモデル〕
3次元はりモデル		実際の形状を模擬した3次元FEMモデル
設置階の床応答スペクトル (拡幅等による保守性を含む)	解析条件	設置階の建屋応答加速度(時刻歴)
モード応答解析(SRSS) (重ねあわせによる保守性を含む)	解析方法	直接応答解析
荷重の組合せによる評価 (荷重の組合せによる保守性を含む)	応力評価	(そのまま出力)



3次元FEM解析の例(2)：7号機圧力容器および炉内構造物



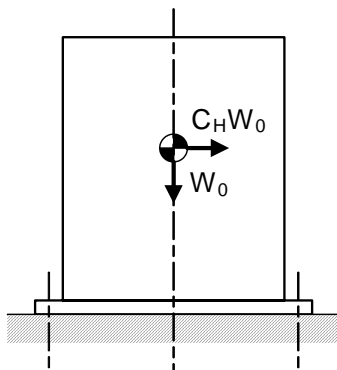
1次元解析の
組合せ



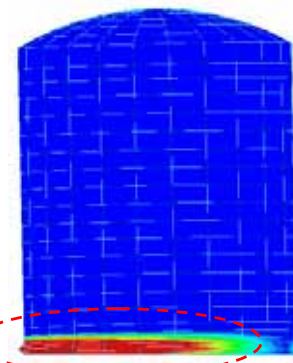
3次元解析

〔現行解析モデル〕		〔3次元FEMモデル〕
1次元集中質量モデル (NS/EW/UD各方向について作成)	解析モデル	実際の形状を模擬した 3次元FEMモデル
地盤 - 原子炉建屋連成解析	解析条件	地盤 - 原子炉建屋連成解析から 入力加速度を出力(時刻歴)
モード応答解析	解析方法	直接応答解析
1次元解析結果の組合せによる評価 (解析の組合せによる保守性を含む)	応力評価	(そのまま出力)

3次元FEM解析の例(3)：ろ過水タンク



より現実的な評価へ

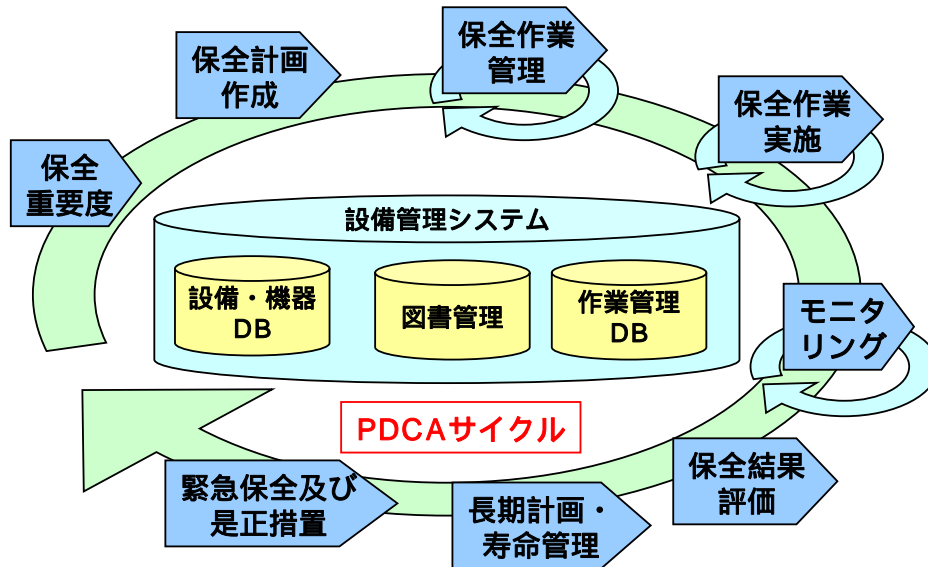


内部水を喪失しなければ
材料の塑性や座屈も許容

〔現行解析(評価)モデル〕		〔3次元FEMモデル〕
-	解析モデル	実際の形状を模擬した 3次元FEMモデル
静的地震力(1.5C ₁ = 0.3G)	解析条件	設置場所(地表面)の地震加速度
設計指針による評価 (評価手法に保守性を含む)	解析方法	直接応答解析
許容応力・座屈応力以下であること	評価基準	タンクが実働性を維持しうる場合は 材料の塑性および座屈を許容

発電所設備資産管理の試み(1) : EAM/CMMSの概要

- EAM(Enterprise Asset Management)
- CMMS(Computerized Maintenance Management System)
 発電プラントや化学プラントなど設備の保守、運転・管理に係るマネージメントを効率的に進める経営手法

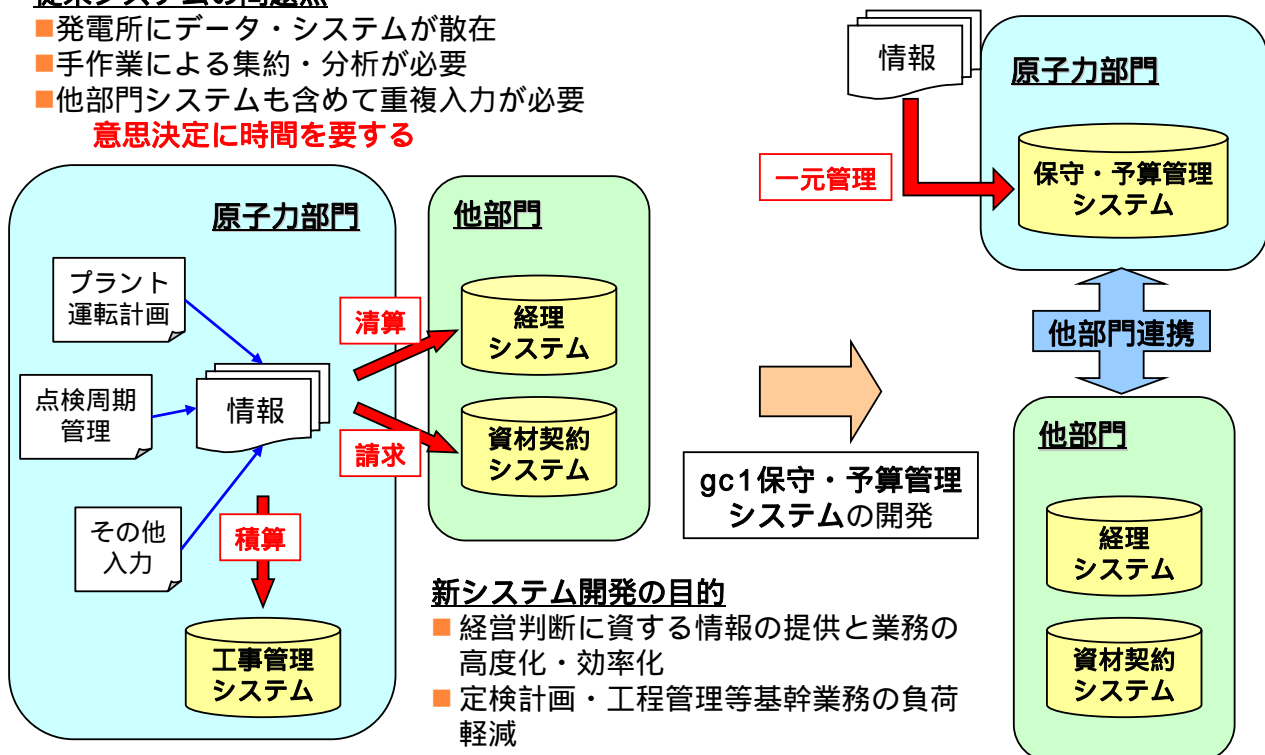


EAM/CMMSシステムイメージ図

発電所設備資産管理の試み(2) : システム開発の狙い

従来システムの問題点

- 発電所にデータ・システムが散在
- 手作業による集約・分析が必要
- 他部門システムも含めて重複入力が必要
意思決定に時間を要する



新システム開発の目的

- 経営判断に資する情報の提供と業務の高度化・効率化
- 定検計画・工程管理等基幹業務の負荷軽減

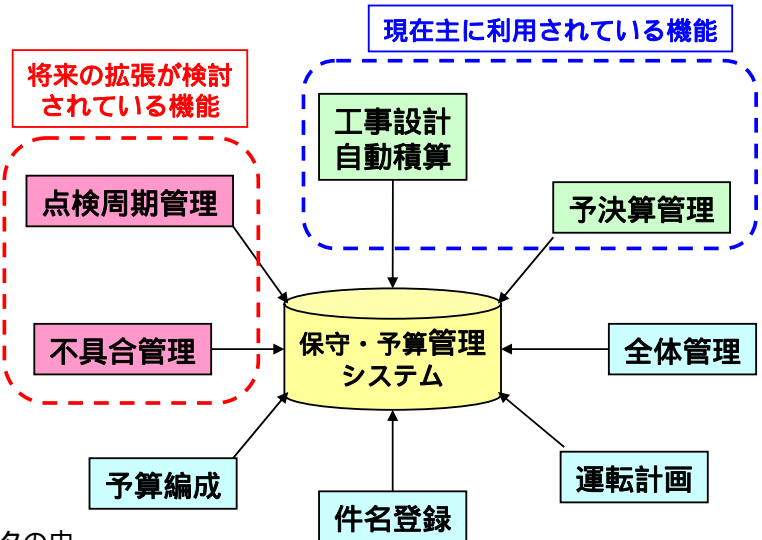
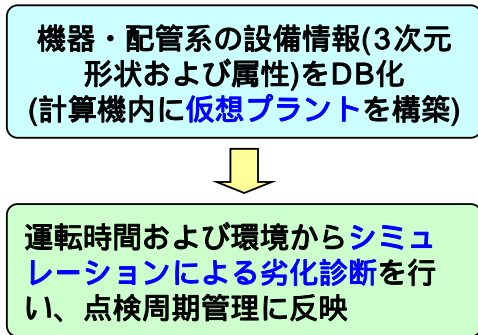
発電所設備資産管理の試み(3)：現状の問題点と将来の構想

■現在の状況と問題点

- 保全IT化/発電所資産管理に必要な全機能の統合を目指して開発に着手したが、現時点では主として予算管理機能に縮小されている
(本店管理部・発電所・情報システム部門等、関係各所の要求分析と意志統一が課題)
- 従来個別に運用されてきたシステムを統合するのに時間を要している
(用語の統一・照合作業など)

■将来の構想

データウェアハウスシステム^{*1}
への拡張



*1：時系列に蓄積された大量の業務データの中から各項目間の関連性を分析するシステム

6. まとめ

まとめ

- 新潟県中越沖地震を受けた柏崎刈羽原子力発電所において；
 - 安全上重要な設備については**指示文書に基づく点検・評価**を実施し、「**特別な保全計画**」に基づく点検および解析により健全性を確認
 - 耐震設計審査指針改訂に伴い、**基準地震動Ssに基づく耐震安全性の再評価**を実施中
 - 耐震安全性の再評価に先立ち、**耐震強化工事用地震動(1000gal)による耐震強化工事**も着手済

- 現行の耐震解析に含まれる保守性**について検討中

- 計算科学分野における取り組みとして；
 - 3次元FEM解析による「見える化」**を検討中
 - 保全IT化**による資産管理と保全プログラムの継続的改善を実施中
将来は**設備データのDB化による仮想プラントの構築**により、シミュレーションによる劣化診断と点検周期計画への反映を目指す

ご静聴ありがとうございました