

関西電力におけるプラント固有のPRA用 信頼性データ整備への取組について

平成30年9月5日

関西電力株式会社

○田中 裕久
山川 希人
富樫 貴紀
竹次 秀一

1. はじめに
2. 個別プラント機器故障率の推定
3. 今後の機器故障率推定のためのデータ収集の仕組み
4. まとめ

- リスク情報を活用した意思決定をプラント運営に取り入れていくに際し、リスク評価手法である**PRA**の精度向上を図ることが重要となる。
- **PRA**の精度向上のための実施事項のひとつが機器故障率に個別プラントのデータを用いることである。現在は機器故障率のデータに原子力安全推進協会（**JANSI**）が整備した国内一般故障率を用いて評価しているが、個別プラントのデータを用いることにより実際のプラント状態に即した**PRA**が可能となる。
- 個別プラントのデータ収集に当たっては、適切なデータを効率的に収集できる仕組みを構築する必要がある。

2. 個別プラント機器故障率の推定

機器故障率評価に必要なとなるデータ

		種類	説明	必要データ
機器故障率	起動失敗 又は 状態変更 失敗	デマンド 故障確率	ある状態にある機器が状態変更 要求(デマンド)を受けた時に故 障する確率	故障件数 デマンド数
	継続運転 失敗 又は 状態維持 失敗	機能維持 失敗率	ある状態にある機器がその状態 を維持できなくなる率	故障件数 運転時間

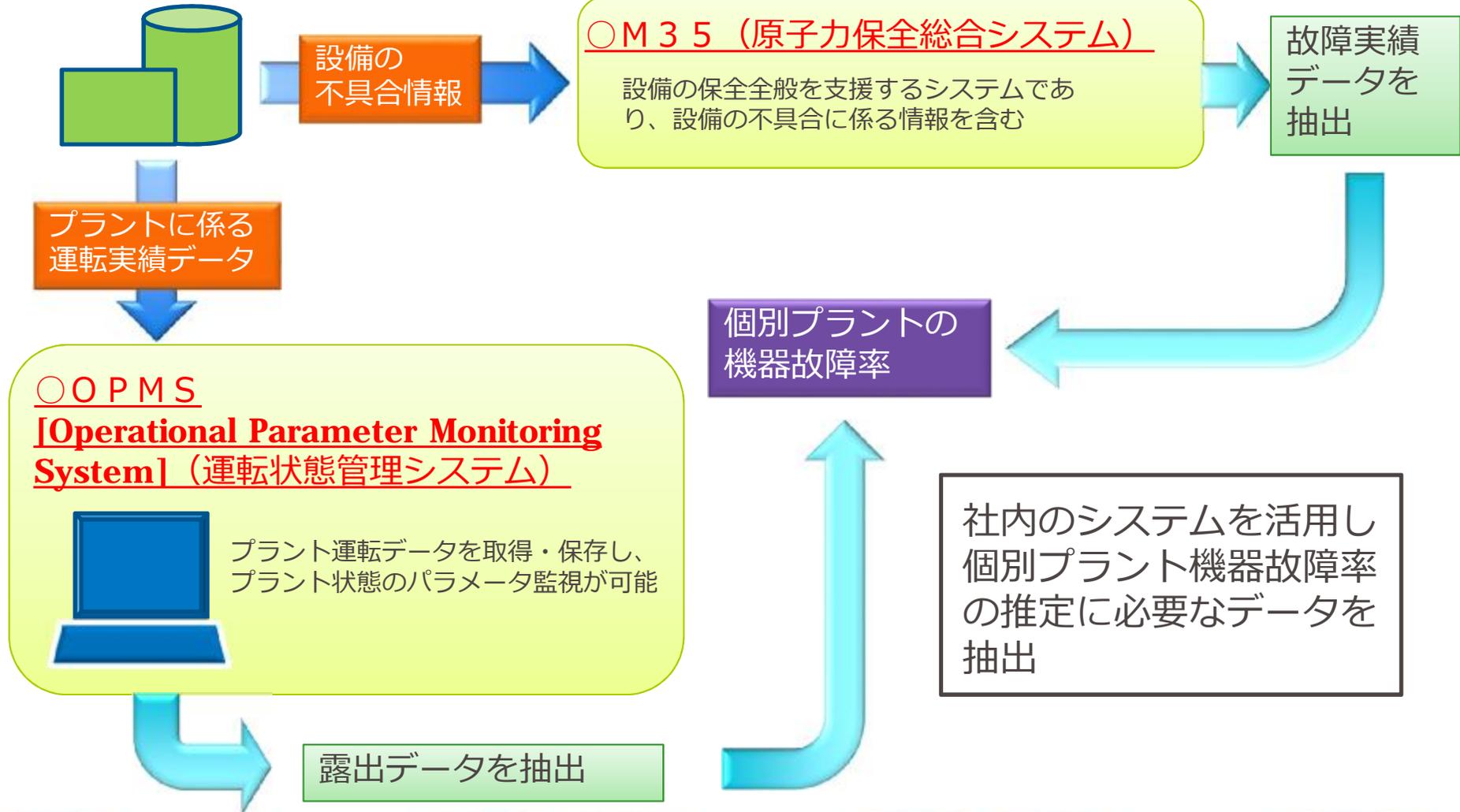
$$\text{機器故障率} = \frac{\text{故障実績 (分子)}}{\text{露出データ (分母)}}$$

- 故障実績は、発電所の設備不具合情報を分析して算出する
- 露出データは、発電所の設備の運転時間実績、弁の開閉回数実績を収集する

2. 個別プラント機器故障率の推定

機器故障率評価に必要なデータの収集ソース

原子力発電所



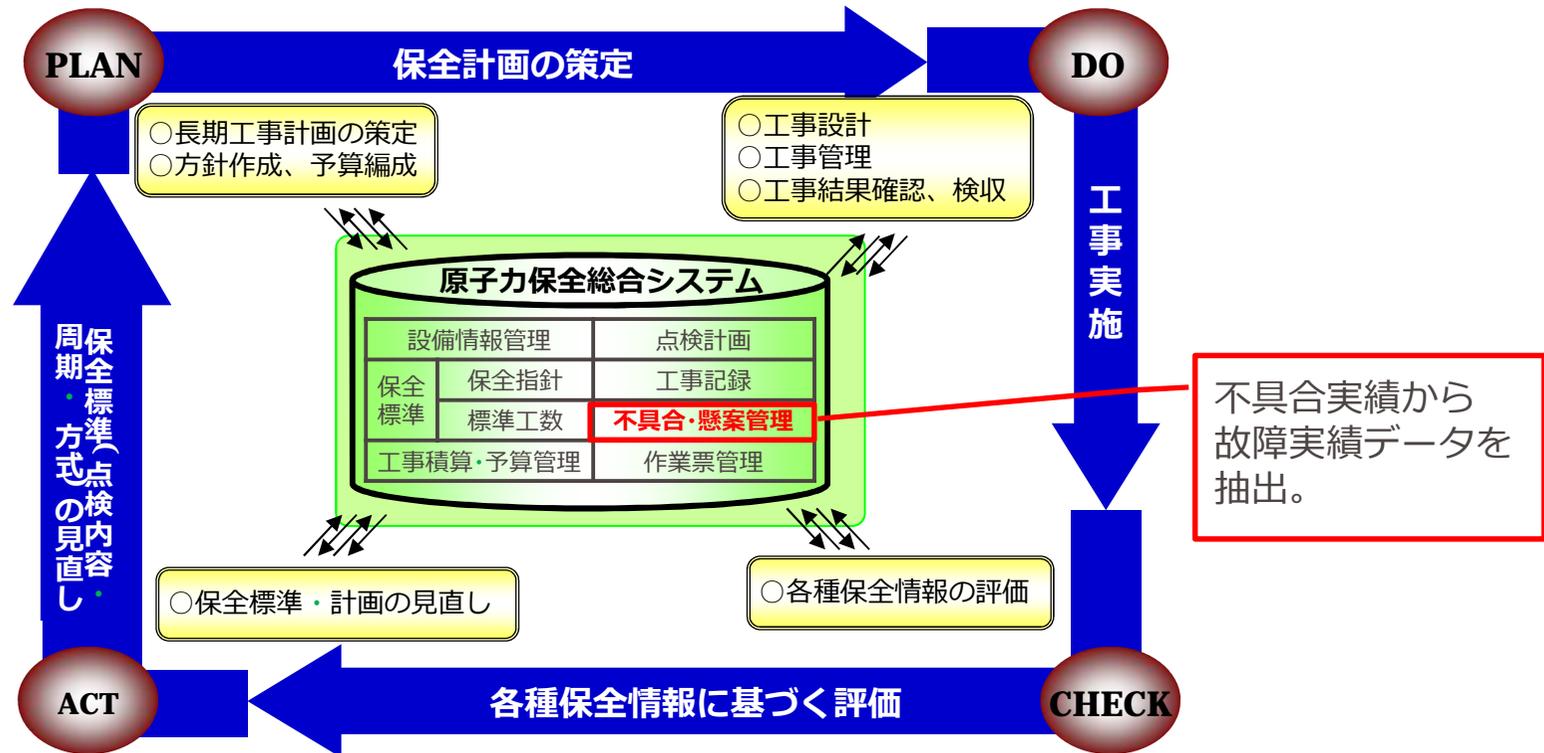
M 3 5 (原子力保全総合システム) の概要

原子力保全総合システムは、「設備情報を一元管理する機能」と、「保全業務のPDCAサイクルを回す機能」で構成。

P (Plan) :
機種毎に、点検項目・点検期間を予め「保全標準」として設定。これに基づき、保全計画を立案。

D (Do) :
点検保守の実施。点検データ、運転中状態監視データ、不具合実績等の保全情報の収集。

<保全業務のPDCAサイクル>



A (Act) : 保全内容の見直し (点検内容・標準工数の保全標準、点検計画等)

C (Check) : 保全情報に基づき、設備の健全性を評価。

2. 個別プラント機器故障率の推定

2018年1月に届出た高浜3号機安全性向上評価（第1回）のPRAにおいて個別プラント機器故障率を用いた感度解析を実施

Ⅰ 機器故障データの収集範囲

- Ⅰ 対象機器：P R Aでモデル化している機器
- Ⅰ 対象期間：5カ年（2006.4－2011.3）
- Ⅰ グループ化：同一発電所の同型式プラントをグループ化
（高浜3/4号機）

Ⅰ ベイズ更新の事前情報

- Ⅰ 29カ年国内一般機器故障データ

なお、電力中央研究所原子力リスク研究センター、全原子力事業者に行っているPRA信頼性パラメータ高度化の取組み方針により、対象期間を7カ年のデータ収集を実施中。

2. 個別プラント機器故障率の推定

機器故障実績の収集プロセス (1/2)

- ①データ収集対象期間の不具合情報を抽出する。
- ②不具合情報の機器名称からP R Aでモデル化対象としている機器の不具合を抽出する。抽出にあたってはP R Aで作成している基事象リスト、簡略系統図等を参考とする。

①の不具合件数：約5,000件 ⇒ ②の件数：約400件

不具合・懸案No.	分類	応答Ver.	発電所	ユニット	区分	不適合処理区分	不具合・懸案件名 -機器名	
FGT2007-2152	00	00	01	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2127	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2072	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2068	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2065	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	C冷水タンク頭以下シリアル配管フランジボルトの腐食について
FGT2007-2055	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	A	A-ディーゼル発電機No. 1始動弁点検
FGT2007-2025	00	00	01	高浜発電所	3	不具合事項	C	飲料水タンク水位計指示不良
FGT2007-2020	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2019	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2018	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-2012	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1947	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1946	00	00	01	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1945	00	00	01	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1926	00	01	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1925	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....
FGT2007-1924	00	00	00	高浜発電所	3	不具合事項	C	.....

照会 追加 複写 不具合・懸案分割 機器移動 ▼ 訂正 一括修正 保全指針 訂正履歴
修正 削除 工事計画 ▼ 単契着手依頼 単契指示一覧 一括緊急 作業票発行 ▼ 関連情報
Excel出力 ▼ 承認依頼 承認履歴 選択

P R Aのモデル化対象機器に関する不具合を基事象リスト、簡略系統図等を参照し抽出する。

2. 個別プラント機器故障率の推定

機器故障実績の収集プロセス (2/2)

- ③抽出した件名 1 件ずつについて内容照会を行い、故障実績として収集するかの判定を行う。判定は「確率論的リスク評価 (PRA) のためのデータ収集実施ガイド」(当時は策定中) に従い実施。
- ④故障実績として収集する不具合について故障モードを選択する。
- ⑤故障実績の判定結果をエビデンスとして残す。

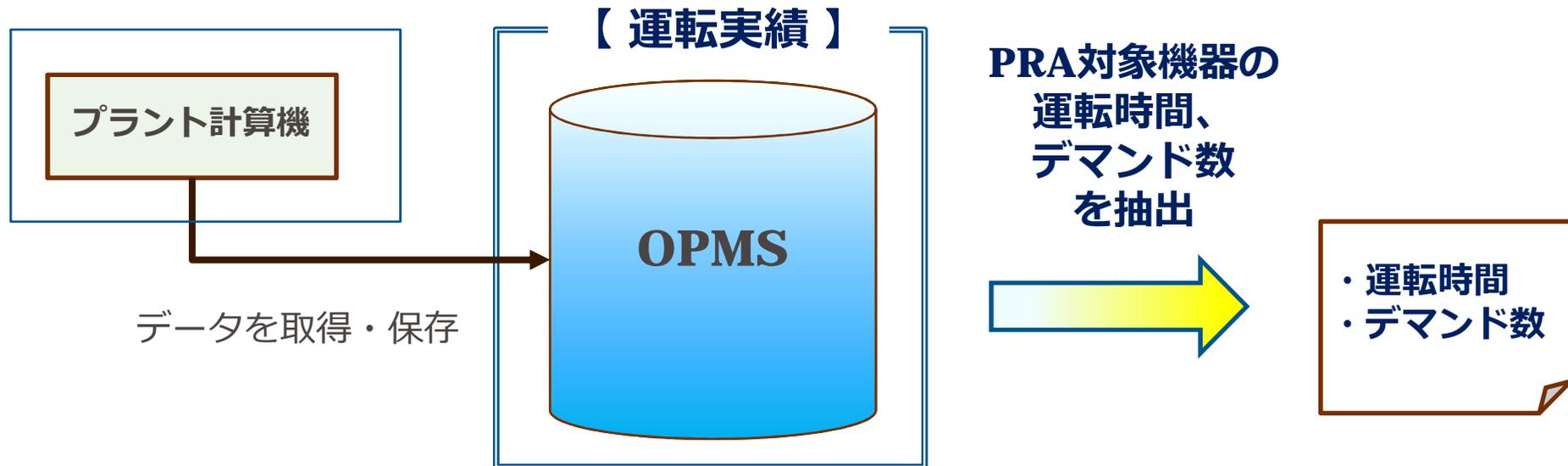
②の件数：約400件 ⇒ ③の故障実績件数：5件

不具合の情報・内容						仕分け条件・理由								
不具合懸案NO	発生/発見日時	機器コード	機器名称	PRA機種	不具合懸案区分2	不具合懸案内容	仕分け条件							
							a	b	c	d	e	f	故障モード	仕分け理由
FGT2007-0558-00-00	2007/6/17	55223E2C-C-ESB-1	B1安全保護系シーケンスキャビネット	その他	0101 運転中不具合	Bトレイン 1個球切れ、取替依頼(「ESB1 ロジック試験」"3DU-XBN")	PRAモデル化機器のパウダリ以外の不具合	運転員(係員)誤操作が原因の不具合	評価対象期間外の不具合	外的要因が原因の不具合	当該機器に要求される所定の機能以外の機能の喪失	当該機器に要求される所定の機能の部分的な喪失(劣化、予兆)	故障モード	仕分け理由
FGT2007-2055-00-00	2007/9/28	55223ED1XX-02A	A-ディーゼル発電機	非常用ディーゼル発電機	0101 運転中不具合	A-ディーゼル発電機起動直後より、No. 1 始動弁シート漏れにより始動用空気ライン温度上昇あり。							起動失敗	始動弁シート漏れに伴い、安定した運転ができないと判断されたディーゼル発電機のLCO逸脱事象であり、PRA機器としての故障と判定する。

2. 個別プラント機器故障率の推定

露出データの収集

OPMSからポンプの運転実績や電動弁の開閉の回数等を抽出



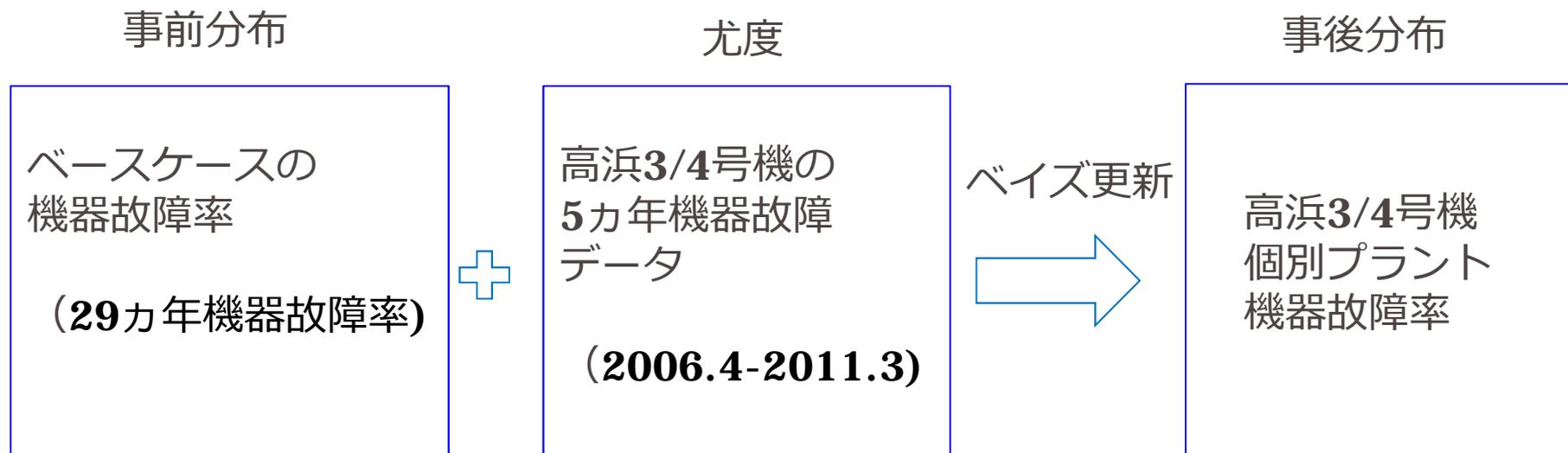
OPMSから抽出できない逆止弁、手動弁のデマンド数は、以下の通り推定

- ・ 逆止弁のデマンド数： 関連するポンプのデマンド数等を基に推定
(例：逆止弁開はポンプ起動、逆止弁閉は待機側ポンプ起動回数から推定)
- ・ 手動弁のデマンド数： 定期点検に関する所則の記載内容を分析して推定

2. 個別プラント機器故障率の推定

収集した5カ年の高浜3/4号機の故障データを、29年機器故障データを事前分布としてベイズ更新を実施し、個別プラント機器故障率を推定

推定した個別プラント機器故障率を高浜3号機安全性向上評価（第1回）のPRAの入力データとした感度解析を実施した。



2. 個別プラント機器故障率の推定

高浜3号機の個別プラント機器故障率

PRA機種 (機器タイプ)	故障モード	ベースケース[A] (29カ年機器故障率)		感度解析[B] (個別機器故障率)		平均値の増減率 ([B]-[A])/[A]		
		平均値	EF	平均値	EF			
電動ポンプ(純水)	起動失敗	1.2E-04	/d	2.1	1.1E-04	/d	2.0	-8.3%
	継続運転失敗	8.1E-07	/h	2.5	7.5E-07	/h	2.4	-7.4%
制御用空気圧縮機	起動失敗	1.2E-04	/d	30	7.9E-05	/d	25	-34.2%
	継続運転失敗	8.1E-07	/h	30	4.5E-07	/h	23	-44.4%
電動ポンプ(海水)	起動失敗	1.2E-04	/d	2.1	1.2E-04	/d	2.1	0.0%
	継続運転失敗	6.0E-07	/h	2.5	5.9E-07	/h	2.5	-1.7%
タービン駆動ポンプ	起動失敗	4.1E-03	/d	2.5	4.8E-03	/d	2.3	17.1%
	継続運転失敗	4.0E-06	/h	1.9	4.0E-06	/h	1.9	0.0%
非常用ディーゼル発電機	起動失敗	2.9E-03	/d	4.1	2.6E-03	/d	2.8	-10.3%
	継続運転失敗	3.3E-04	/h	1.7	3.3E-04	/h	1.7	0.0%
ファン/ブロー	起動失敗	1.0E-04	/d	2.7	2.5E-05	/d	1.9	-75.0%
	継続運転失敗	3.2E-07	/h	2.2	3.1E-07	/h	2.2	-3.1%
電動弁(純水)	開失敗	6.8E-05	/d	2.3	6.6E-05	/d	2.3	-2.9%
	閉失敗	4.6E-05	/d	3.7	4.4E-05	/d	3.6	-4.3%
	誤開又は誤閉	4.2E-09	/h	2.9	4.1E-09	/h	2.9	-2.4%
	外部リーク	5.5E-09	/h	2.7	5.4E-09	/h	2.7	-1.8%
	内部リーク	8.7E-09	/h	2.4	8.7E-09	/h	2.4	0.0%
電動弁(海水)	開失敗	6.8E-05	/d	2.3	6.8E-05	/d	2.3	0.0%
	閉失敗	4.6E-05	/d	3.7	4.6E-05	/d	3.7	0.0%
	誤開又は誤閉	2.8E-08	/h	4.6	2.8E-08	/h	4.6	0.0%
空気作動弁	開失敗	4.8E-05	/d	2.5	4.7E-05	/d	2.5	-2.1%
	閉失敗	1.2E-04	/d	3.1	7.2E-05	/d	2.5	-40.0%
	誤開又は誤閉	1.8E-08	/h	2.6	1.7E-08	/h	2.6	-5.6%
	外部リーク	1.0E-08	/h	2.8	9.8E-09	/h	2.8	-2.0%
	内部リーク	1.7E-08	/h	2.9	1.7E-08	/h	2.9	0.0%
油圧作動弁	閉失敗	5.6E-05	/d	2.5	5.5E-05	/d	2.5	-1.8%
	誤開又は誤閉	8.6E-08	/h	2.5	8.5E-08	/h	2.5	-1.2%
	内部リーク	1.5E-08	/h	3.9	1.5E-08	/h	3.9	0.0%
逆止弁	開失敗	9.2E-06	/d	3.6	8.7E-06	/d	3.5	-5.4%
	閉失敗	5.9E-05	/d	4.2	5.9E-05	/d	4.2	0.0%
	外部リーク	3.4E-09	/h	3.5	3.4E-09	/h	3.5	0.0%
	内部リーク	2.1E-08	/h	2.3	2.1E-08	/h	2.3	0.0%

2. 個別プラント機器故障率の推定

高浜3号機の感度解析結果（炉心損傷頻度）

事故シーケンス グループ	炉心損傷頻度（/炉年） ベースケース[A] (29カ年機器故障率)		炉心損傷頻度（/炉年） 感度解析ケース[B] (個別機器故障率)		増減値 [B]-[A]
2次冷却系からの除熱機能喪失	9.5E-08	(13.2%)	9.4E-08	(13.5%)	-1.6E-09
全交流動力電源喪失	1.4E-07	(19.4%)	1.4E-07	(19.5%)	-5.0E-09
原子炉補機冷却機能喪失	7.2E-08	(10.0%)	6.7E-08	(9.6%)	-5.0E-09
原子炉格納容器の除熱機能喪失	5.3E-09	(0.7%)	4.3E-09	(0.6%)	-1.0E-09
原子炉停止機能喪失	1.1E-09	(0.1%)	1.1E-09	(0.2%)	0.0E+00
ECCS注水機能喪失	3.3E-07	(46.1%)	3.2E-07	(46.2%)	-1.2E-08
ECCS再循環機能喪失	5.4E-08	(7.4%)	5.2E-08	(7.5%)	-1.9E-09
格納容器バイパス	2.2E-08	(3.0%)	2.1E-08	(3.1%)	-2.0E-10
合計	7.2E-07		6.9E-07		-2.6E-08

個別プラント機器故障率を用いた感度解析を実施した結果、炉心損傷頻度（内部事象）は約**3.6%**低減した。

非常用ディーゼル発電機起動失敗、電動ポンプ（原子炉補機冷却水ポンプ等）継続運転失敗の個別プラント故障率の低減が、炉心損傷頻度低減の主な要因である。一方、タービン動補助給水ポンプ（タービン駆動ポンプ）の起動失敗確率は増加したが、電動補助給水ポンプにより多重化されているため炉心損傷頻度への影響は小さい。

3. 今後の機器故障率推定のためのデータ収集の仕組み

今後の機器故障データ収集の社内体制

故障実績データの収集

- 発電所の設備保修課の日常の不具合管理業務を通じて収集

運転実績データの収集

- リスク評価所管が収集

機器故障率の推定

- リスク評価所管が収集

機器の故障判断は設備の熟知や現場判断を伴うため、保守管理を実施する所管が判断することが適切であり、既往の保全活動の中で**PRA**に必要なデータの収集を行うことが望ましい。

故障実績データの収集の業務フロー

①不具合票の恒久対策完了
(発電所 設備保修課)



②故障モード判定に係る確認
(発電所 リスク評価所管)



M35システムの
改良を実施

3. 今後の機器故障率推定のためのデータ収集の仕組み

日常の不具合管理業務を通じて機器故障データを収集するために
M35システムの改良を実施

①M35システムの登録されている機器の中からP R A対象機器を識別

PRA機器リスト (基事象リスト)

機器番号	機器名	機器タイプ	故障モード	要否
RWST	燃料取替用水タンク	タンク	破損	○
RW01	燃料取替用水タンク出口電動弁	電動弁	開失敗 閉失敗	×
			外部リーク	○
			誤閉	○
			外部リーク	○
SMSC	サンプスクリーン	スクリーン	閉塞	×
SM01	格納容器スプレイポンプサンプ側電動弁	電動弁	開失敗 閉失敗 閉塞	× × ×
			内部リーク	○
			誤開	○
			外部リーク	○
CSPA	A格納容器スプレイポンプ	電動ポンプ	起動失敗 継続運転失敗	○ ○
...

M35システムの機器

個別機器コード	設備名称	設備タイプ
55223E22QC-MC-A-13	3A格納容器スプレイポンプシャ断器盤	制御盤
55223E22QC-MC-B-13	3B格納容器スプレイポンプシャ断器盤	制御盤
55223E22QC-RCC-A2-04A	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンユニット	コントロールセンサユニット
55223E22QC-RCC-B2-04A	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンユニット	コントロールセンサユニット
55223E22NB-RC-A2-04A	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンNFB	NFB
55223E22NB-RC-B2-04A	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンNFB	NFB
55223E22QC-1LB-029	A格納容器スプレイポンプ現場盤	制御盤
55223E22QC-1LB-030	B格納容器スプレイポンプ現場盤	制御盤
55223E22QC-1LB-110	A格納容器スプレイポンプ冷却ファン現場盤	制御盤
55223E22QC-1LB-111	B格納容器スプレイポンプ冷却ファン現場盤	制御盤
55223E29CV-3SP0101	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0101	ケーブル
55223E29CV-3SP0102	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0102	ケーブル
55223E29CV-3SP0103	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0103	ケーブル
55223E29CV-3SP0104	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0104	ケーブル
55223E29CV-3SP0105	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0105	ケーブル
55223E29CV-3SP0106	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0106	ケーブル
55223E29CV-3SP0107	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0107	ケーブル
55223E29CV-3SP0108	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0108	ケーブル
55223E29CV-3SP0109	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0109	ケーブル
55223E29CV-3SP0201	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0201	ケーブル
55223E29CV-3SP0202	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0202	ケーブル
55223E29CV-3SP0203	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0203	ケーブル
55223E29CV-3SP0204	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0204	ケーブル
55223E29CV-3SP0205	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0205	ケーブル
55223E29CV-3SP0206	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0206	ケーブル
55223E29CV-3SP0207	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0207	ケーブル
55223E29CV-3SP0208	A格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0208	ケーブル
55223E29CV-3SP0209	B格納容器スプレイポンプケーブルNo. SP0209	ケーブル
55223E29CV-3VA3901	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B01	ケーブル
55223E29CV-3VA3902	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B02	ケーブル
55223E29CV-3VA3903	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B03	ケーブル
55223E29CV-3VA3904	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B04	ケーブル
55223E29CV-3VA3905	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B05	ケーブル
55223E29CV-3VA3906	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B06	ケーブル
55223E29CV-3VA3907	A格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B07	ケーブル
55223E29CV-3VA3908	B格納容器スプレイポンプ冷却ファンケーブルNo. VA3B08	ケーブル

識別



3. 今後の機器故障率推定のためのデータ収集の仕組み

② M35システムの設備情報にPRA情報を追加

設備仕様管理サブシステム

TagNo. : 3EGEN-A 機器コード : 55223ED1XX-02A

管理仕様 参考仕様 親設備

仕様項目	型	モード	値
MS区分	半角文字(4)	入力必須	MS-1
PS区分	半角文字(4)	入力必須	-
R区分	半角文字(4)	入力必須	R-2
設備重要度	半角文字(1)	入力必須	A
保全重要度	全角文字(1)	入力必須	高
耐震区分	半角文字(2)	入力必須	S
EQ区分	全角文字(1)	入力必須	-
設備仕様にPRAの項目を追加し PRAモデル化対象設備を明確化			
内的事象出力時L1PRA対象	全角文字(1)	入力必須	○
内的事象出力時L1.5PRA対象	全角文字(1)	入力必須	-
内的事象停止時PRA対象	全角文字(1)	入力必須	○
PRA代表機器名称	全角文字(40)	入力必須	A-ディーゼル発電機
PRA代表機器コード	半角文字(32)	入力必須	55223ED1XX-02A
PRA機種(機器タイプ)	全角文字	入力必須	非常用ディーゼル発電機
PRA機器としての登録日	年月日		2016/09/01

3. 今後の機器故障率推定のためのデータ収集の仕組み

③ M35システムの不具合管理にPRA情報を追加

不具合懸案票

不具合・懸案No. : FGT2007-2055-00-00 バージョン : 00 ステータス : 恒久対策完了 訂正実施状況 :
発電所* : 高浜発電所 ユニット* : 3号機 対象機器件数 : 1
不適合処理区分* : A 不具合情報* : トラブル情報 発行日* : 2007/09/28 発行年度 : 2007
不具合・懸案区分* : 不具合事項 運転中不具合 添付ドキュメント : 無 手続関係*
不具合・懸案件名* : A-ディーゼル発電機 No. 1 始動弁点検 工認 : 要 否
内容* : A-ディーゼル発電機起動直後より、No. 1 始動弁シート漏れにより始動用空気ライン温度上昇あり。 溶申 : 要 否
(240文字まで) 安全協定(設備 : 要 否
変更許可含む)

発見時事象* : もれ 代表機器情報
その他事象 : 機器名 : A-ディーゼル発電機始動弁 安全重要度 : MS-1 -
設備重要度 : A 保全重要度 : 高 運転委託 : 対象 運営設備委託 : 対象

発行	処置検討	処置結果	原因	対策	保全指針作成/改訂・水平展開
発生原因* : (240文字まで)			根本原因1* : 保守不良 根本原因2* :	発見時機器状態* : 機能喪失している	
直接原因 : ゆるみ 間接原因 :					

備考 :
(120文字まで)

対象機器 保全指針 劣化事象 **PRA** 【故障モード】をリストから選択 承認 ▼ 承認依頼 ▼ 承認履歴
関連情報 訂正履歴 応急対策照会 水平展開元照会 登録 削除 閉じる

機器故障データ蓄積が可能



故障率算出の精度/効率化向上

- ・既存の社内システムから高浜3/4号機の過去5年間（2006.4－2011.3）のプラントデータを収集し、国内一般機器故障率を事前分布としてベイズ更新した故障率を、高浜3号機の安全性向上評価の**PRA**の入力データとして感度解析を行った。
- ・今後の機器故障実績の効率的な収集に向け、M 3 5に登録されている機器に**PRA**対象機器の関連付けを行い、発電所の設備保修課の不具合管理業務を通じて日常的に**PRA**に必要な機器故障実績データを採取する仕組みを構築した。
- ・データの収集を継続的に実施し、個別プラント機器故障率を更新することにより**PRA**の精度向上を図っていく。