

NRRCシンポジウム2026

内的事象PRAモデルの品質向上に係る支援

原子力リスク研究センター
荒井 佑介

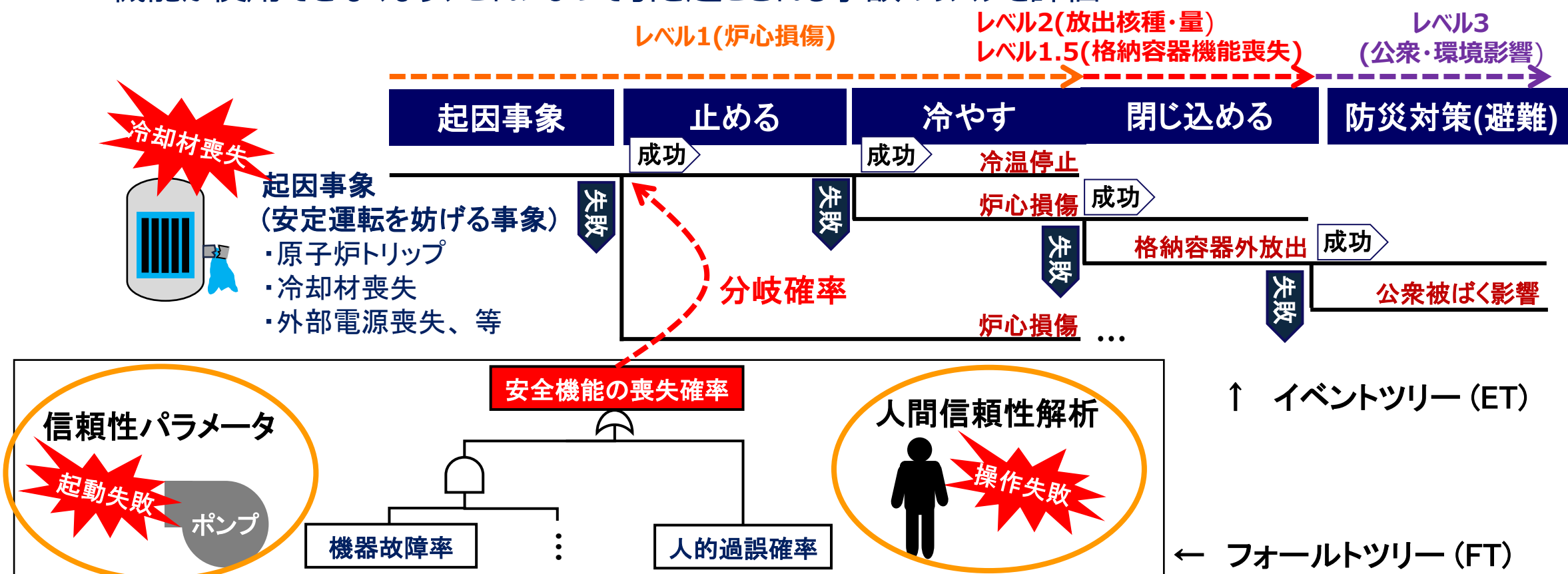
目 次

1. 内的事象PRAの構成
 2. 内的事象PRAの背景と課題
 3. 課題解決への取り組み
 4. 研究成果
 - (1) 海外専門家による内的事象PRAピアレビュー
 - (2) 機器故障率用データの収集・分析手法の改善
 - (3) HRA定性分析ガイドの開発
 5. 現状の到達点と今後の取り組み
- 【付録】これまでに得られた成果
- 【付録】取り組みの進捗状況

1. 内的事象PRAの構成

■ 内的事象PRA (地震、津波、火災、溢水などのハザードのPRAのベースになるPRA)

- 原子力発電所において、機器故障や人的要因等のプラント内部で起こる偶発的な故障によって安全機能が使用できなくなり、これによって引き起こされる事故のリスクを評価



2. 内的事象PRAの背景と課題

■背景

- 国内事業者の内的事象PRAモデル
 - 個別プラントの脆弱性を評価するための1990年前後における米国PRAモデルを参考に構築し、その後は、「シビアアクシデント対策の検討と有効性評価」にPRAの活用が限定されていた
- 海外（米国等）では、PRA手法やPRAモデルの品質向上がなされ、リスク情報活用規制が進展

■解決すべき課題

- 国内PRAは海外PRAに比べて、PRA手法やPRAモデルの品質向上が遅れていた
 - 個別プラント起因事象の分析不足、機器信頼性データの未整備、旧式の人間信頼性解析手法など
- 幅広くリスク情報活用を進めている海外の技術水準（国際的技術水準）に至っていないかった

3. 課題解決への取り組み

国内でのリスク情報活用導入に向け、国際的技術水準に適合したPRAモデルを構築するため、以下の研究に取り組んでいる

■PRAモデルの改善

- ・ 海外専門家による内的事象PRAピアレビュー ⇒【研究成果（1）】

■PRA用信頼性パラメータ（機器故障率など）

- ・ 機器故障率用データの収集・分析手法の改善 ⇒【研究成果（2）】
- ・ その他のパラメータ整備：共通原因故障、アンアベイラビリティ、外部電源喪失頻度/復旧失敗確率等

■人間信頼性解析（HRA: human reliability analysis）

- ・ 国際基準のHRAの定量化ツールの導入
- ・ HRA定性分析ガイドの開発 ⇒【研究成果（3）】
- ・ 人間信頼性データ収集様式とデータベースの開発
- ・ 手順書がない複雑状況下におけるHRA手法の開発（津波PRA、火災PRA、溢水PRA等への応用）

4. 研究成果

(1) 海外専門家による内的事象PRAピアレビュー (1/3)

■海外専門家による内的事象PRAピアレビュー

<海外専門家によるPRAピアレビューとは？>

- ASME/ANS PRA標準*に規定されるPRA実施上の技術的要件や慣行とのギャップを、第三者のPRA実務者が指摘・改善事項として抽出するもの
- 原子力リスク研究センター（NRRC）は、国内代表プラント（BWR：柏崎刈羽7号機、PWR：伊方3号機）を選定し、PRA実務経験が豊富な海外専門家を招聘して、内的事象PRAモデルに対するピアレビューの活動を支援（レビューアの選定、計画の調整、レビュー知見の産業界全体への水平展開等）
- 事業者は、ピアレビューの結果に基づき、PRAモデルを改善

*ASME：米国機械学会、ANS：米国原子力学会

4. 研究成果

(1) 海外専門家による内的事象PRAピアレビュー (2/3)

■国際的技術水準への適合性 – 内的事象レベル1PRAの例

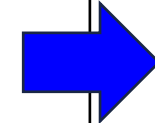
- ASME/ANS PRA標準の技術要件である性能カテゴリ（Capability Category, CC）ⅠまたはⅡへの適合性を判断
- PRAモデルが「CC-Ⅱ」を満足すれば、「モデル詳細度」「プラント固有性」「プラント応答の現実性」の観点から、国際的技術水準に適合していると判断

■国際的技術水準への適合性の適合状況

- レビュー当初と比べて、概ね**ASME PRA標準の技術要件を満足するようなPRAモデルに改善された**
- レビュー開始当初にあった**技術的ギャップも解消され、リスク情報活用で使用するためのPRAの品質が確保された**

(例) 伊方3号機 内的事象レベル1PRAモデルにおける
国際的技術水準への適合状況の変化

	2018年度 初回 海外専門家 レビュー実施後	2025年度 第12回 海外専門家 レビュー実施後
国際的技術 水準への適 合割合	65%	92%



4. 研究成果

(1) 海外専門家による内的事象PRAピアレビュー (3/3)

■技術的ギャップ改善の一例 – 起因事象の細分化

- 以前の国内PRAモデルは、古い文献にある基本的な起因事象のみの取扱い
- これまでの国内および国外の運転経験を考慮し、故障モード影響解析（FMEA）*による網羅的な分析を行ってプラント固有の起因事象を追加

➡プラント固有の特徴を考慮した起因事象を選定することで、各プラントの状況を反映した評価が可能になった

*機器ごとに故障モードを特定し、当該故障が発生した場合の影響をボトムアップ方式で抽出する手法

■業界全体におけるPRAモデルの高度化

- 国内代表プラントのピアレビューを通じて、国際的な知見に基づく技術的な改善事項の提言・助言が得られるとともに、それらを踏まえてPRAモデルを高度化
- 国内代表プラントのピアレビューの実経験や、米国のピアレビューガイド^[1]を参照し、ピアレビューの詳細な実施プロセスやレビュー要件を策定（PRAピアレビューガイド^[2]）
- PRAピアレビューガイドに基づき、2025年度より国内技術者を中心としたピアレビューを実施中

➡Good PRAの国内構築に向けた技術基盤の構築が進んでいる

4. 研究成果

(2) 機器故障率用データの収集・分析手法の改善 (1/2)

■従来の国内一般機器故障率データ^[3]に対する批判

- 『故障率の数値が海外（米国）よりも非現実的に小さすぎて信用できない』
- 『収集されていない機器故障データがあるのではないか』

■ASME/ANS PRA標準に則った透明性のあるデータ収集方法・分析手法の確立

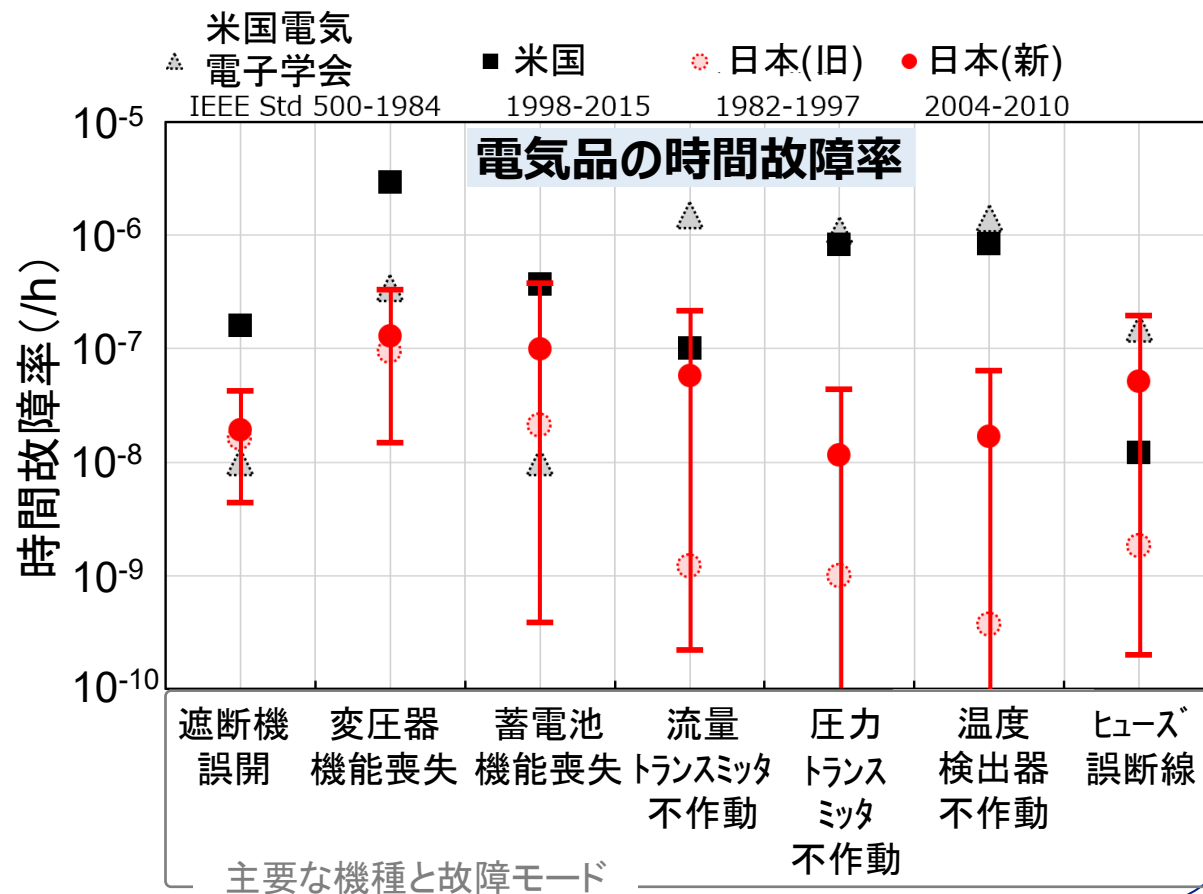
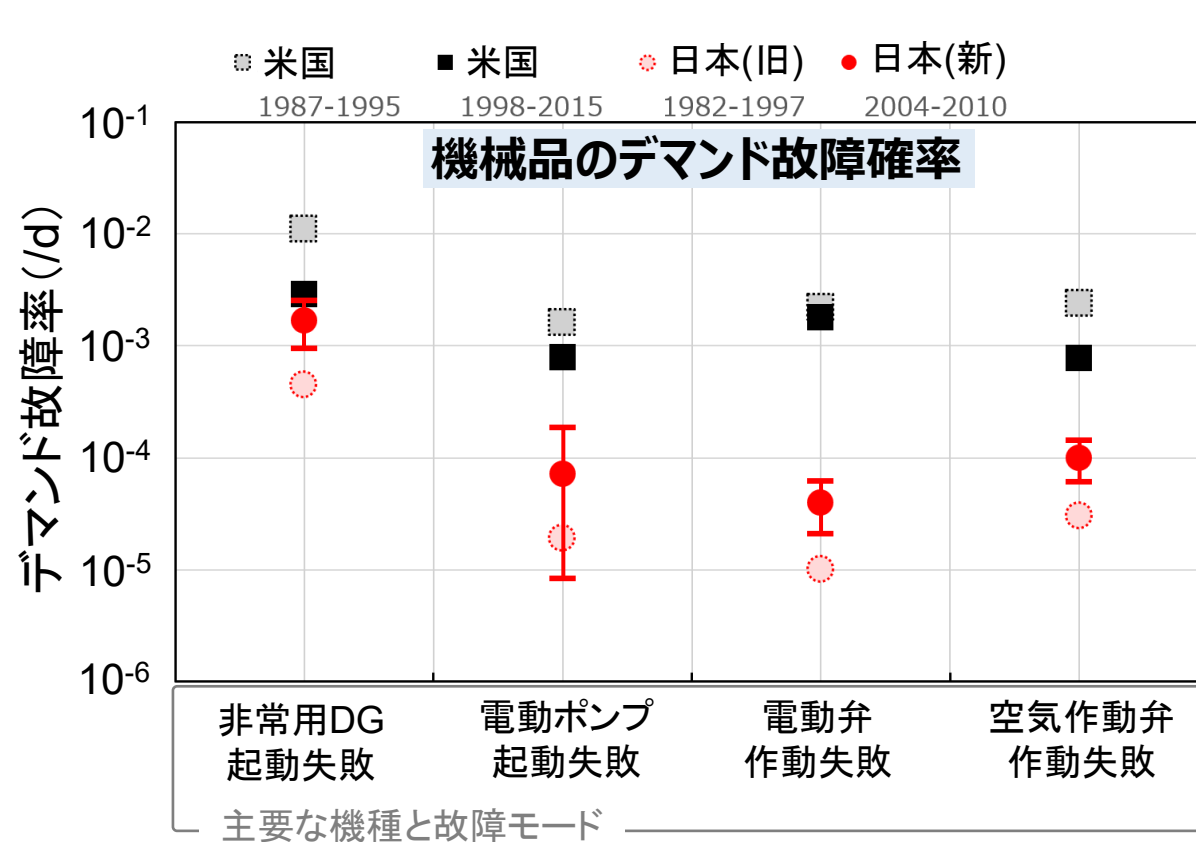
- **機器信頼性データ収集ガイド^[4]**
 - ✓ 個別プラントの保守用データベースから**直接、もれなく必要な情報を収集**するプロセス
 - ✓ 個別プラントPRAの対象機器範囲の明示化により**正確な機器員数**を把握するしくみ
 - ✓ PRAで扱う**安全機能の喪失**を的確に判断する機器故障判定プロセス
- **一般機器信頼性パラメータの推定^[5]**
 - ✓ 機器故障率の不確かさを考慮した世界標準の統計手法を採用（ベイズ統計手法）

4. 研究成果

(2) 機器故障率用データの収集・分析手法の改善 (2/2)

■改善による一般機器故障率/故障確率の変化と米国実績との比較

- データ収集方法の改善により、『非現実的に小さい』値ではなくなった
- 新機器故障率は、新検査制度(2020年度～)用の国内プラントPRAに使用されている



4. 研究成果

(3) HRA定性分析ガイドの開発

■国際的技術水準に適合するようなHRA手法への改善

- 従来、国内HRAで使われている古い評価手法では、「認知/診断」失敗が適切に評価できず、「人的過誤に至る文脈」が明確に分析されていなかった
- 米国EPRIのHRA解析ツールを採用し、「認知/診断」失敗のモデル化を強化した

■HRA分析結果のばらつきを改善

- 一般に、同じHRA解析ツールを使用した場合でも、文脈の解釈により、解析者ごとに人的過誤確率の評価結果が大きくばらつく傾向あり
- 人的過誤に至る文脈（タスク構造、状況・環境、時間進展等）の分析手法を確立することにより、ばらつきの抑制に効果あり
- 「人的過誤に至る文脈」を分析するためのHRA定性分析ガイド^[6]を策定

➡国内HRA手法は国際的技術水準に適合するように改善された

5. 現状の到達点と今後の取り組み

■現状の到達点

PRAモデルが国際的技術水準に適合したことで、幅広いリスク情報活用が可能になった。

■今後の取り組み

➤ PRAモデルの改善

- 国内代表プラント以外のプラントにおけるピアレビューの実施

➤ PRA用信頼性パラメータ

- 機器故障率/故障確率…対象機器の充実と運転経験の蓄積によるパラメータ更新と信頼性向上
- 未整備パラメータの早期整備

➤ 人間信頼性解析（HRA）

- 国内の訓練等を活用した人間信頼性データによる代表的な人的過誤確率の推定・更新
- 外的事象、デジタル制御機器に関するHRA手法の拡張

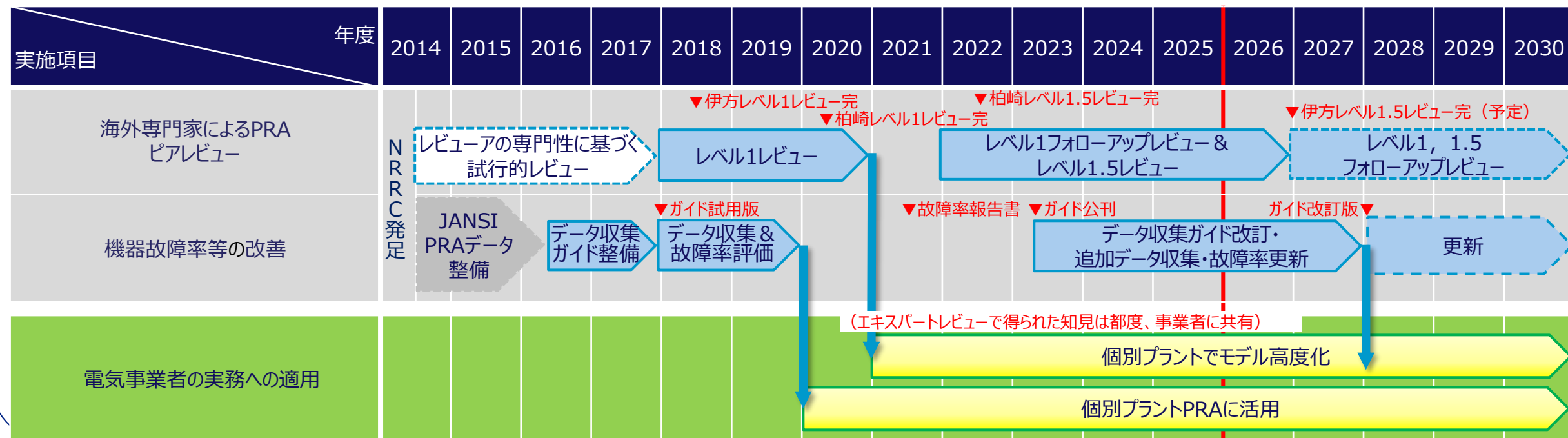
【付録】これまで得られた成果（1/2）

■PRAモデルの改善

- 事業者の内的事象PRAモデルについて、概ね国際的技術水準に比肩するようなレベルに高度化

■PRA用信頼性パラメータ（機器故障率など）

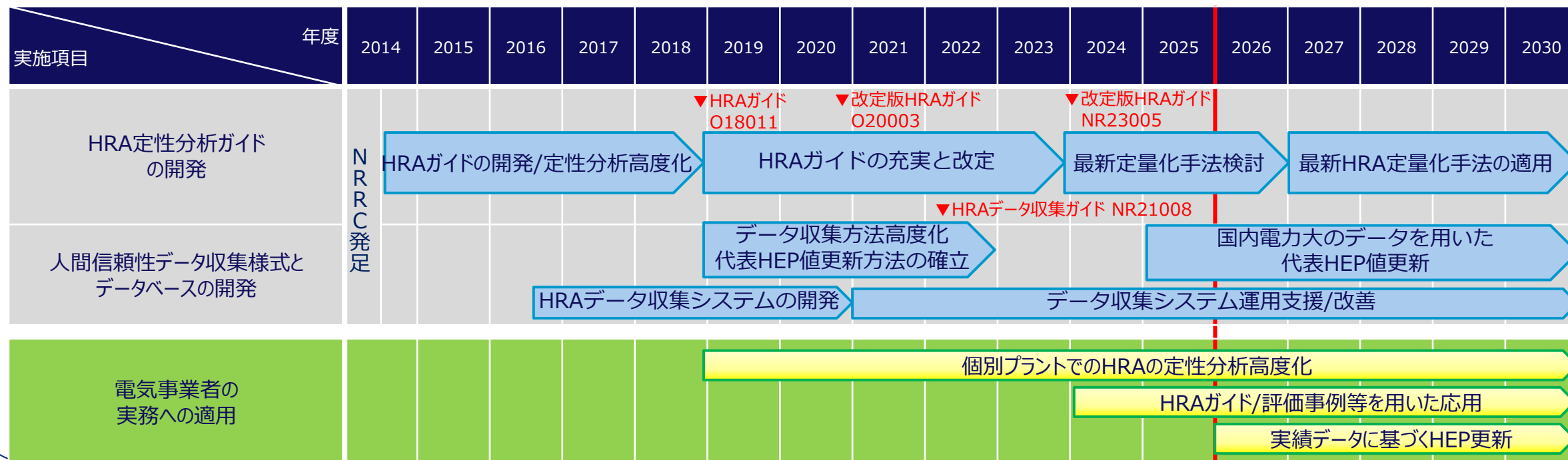
- PRA機器故障データ収集ガイドを整備
- 本ガイドに従い国内機器故障パラメータを改善



【付録】これまで得られた成果（2/2）

■人間信頼性解析（HRA）

- HRA定性分析ガイドと適用事例を開発、最新知見反映による2回の改定版を発行し適用事例を充実
- 実機プラントでのHRAでHRAインタビューを実施、国プロの津波PRAのHRAにHRAガイドの評価手法を適用
- 国内の訓練シミュレータ観察によるHRAデータ収集システムを開発



【付録】取り組みの進捗状況

解決すべき課題	取り組み内容	進捗状況
国際的なPRA手法 およびPRAモデル とのギャップ	海外専門家による内的事象レベル1PRAピアレビュー	2020年度に完了
	海外専門家による内的事象レベル1.5PRAピアレビュー	実施中
機器信頼性データ (機器故障率など) の未整備	機器故障率の改善	2021年度に完了
	共通原因故障、アンアベイラビリティ、外部電源喪失頻度/復旧失敗確率に係るパラメータ整備	実施中
旧式の人間信頼性解析 (HRA) 手法	国際基準のHRAの定量化ツールの導入	米国EPRIで開発されたHRA解析ツールを自社のHRAに導入済
	HRA定性分析ガイドの開発	2018年度に完了
	人間信頼性データ収集様式とデータベースの開発	2022年度に完了

【付録】成果に係る主な参考文献

- [1] NEI, “Performance of PRA Peer Reviews Using the ASME/ANS PRA Standard,” NEI17-07, Revision 2, August 2019.
- [2] PRAピアレビューガイド（研究報告NR25001、2025年7月）
- [3] 原子力発電所に関する確率論的安全評価用の機器故障率の算出 -1982年度～1997年度16カ年49基データ 改訂版-（研究報告P00001、2001年1月）
- [4] 確率論的リスク評価（PRA）のための 機器信頼性データ収集実施ガイド（研究報告NR22006、2023年5月）
- [5] 国内原子力発電所のPRA用一般機器信頼性パラメータの推定（研究報告NR21002、2021年9月）
- [6] 叙事知に重点を置いた人間信頼性解析（HRA）の定性分析ガイド（2023年度版）（研究報告 NR23005、2024年5月）