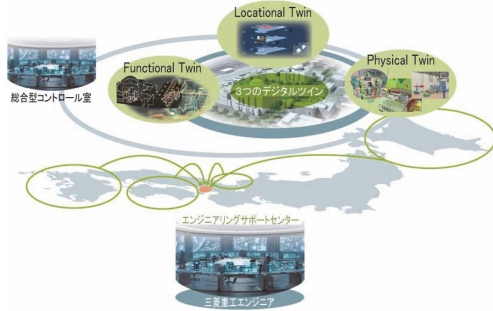


デジタル技術を活用した 原子力発電プラント運用保守の高度化支援

－ 更なる安全性・信頼性、パフォーマンスの向上を目指して －

Digital Technologies for Operation & Maintenance Efficiency of Nuclear Power Plants － Leading to Further Safety, Reliability, and Performance －



福井 俊樹*¹
Toshiki Fukui

番家 拓郎*²
Takuro Banka

野田 英介*³
Eisuke Noda

白土 剛*⁴
Takeshi Shiratsuchi

木内 信二*⁵
Shinji Kiuchi

富田 雅文*⁶
Masafumi Tomita

国内原子力発電プラントは過酷事故防止や緩和対策の実施により、世界最高水準の安全性を実現し再稼働を達成することができた。その結果、安全対策設備の追加により、管理対象設備が増加し、またそれらを運用保守する人的負担が増加している。稼働基数の減少による経験機会の減少及びベテランの引退を受けた技術の伝承も課題である。

原子力発電プラントではこれまで運転操作の自動化範囲拡大を進めてきたが、間接的な運用保守業務は多くの人を介するものが主体であり、ここに昨今急速に発展しているデジタル技術を活用することで、設備の統合的な管理、業務負担低減、技術伝承等の課題解決に大きな効果が期待される。

三菱重工業株式会社ではその課題解決の実現のために、“3つの観点のデジタルツイン”コンセプト⁽¹⁾を提案、そのコンセプトに基づくソリューションを開発している。一部については電力会社のご意見を取り入れながら導入・試運用を進めており、今後も、新たなソリューション開発や複数ソリューションの相互連携を通じて、更なる発展を目指している。

1. はじめに

三菱重工業株式会社(以下、当社)では、原子力発電プラントの運用保守について電力会社と協調し、更なる安全性・信頼性とパフォーマンスの向上を目指して日々取り組んでいる。

福島第一原子力発電所事故後に施行された新規制基準による過酷事故防止や緩和対策の実施により、多種多様な設備が追加された。その結果、管理対象設備が増加し、運用保守の人的負担が増加した。また、稼働基数の減少による経験機会の減少及びベテランの引退により、技術伝承が不十分になるという問題も健在化している。

これらの課題に対して、当社は、運用保守の高度化を目指し、最新デジタル技術とプラント知見を活用した“3つの観点のデジタルツイン”コンセプト⁽¹⁾を提案している。

本報では、このコンセプトの概要と特徴に加え、現在、導入・試運用を進めているソリューションを具体的な事例を交えて説明する。

*1 原子力セグメント 電気計装技術部 主席チーム統括

*2 原子力セグメント 電気計装技術部 技術士(原子力・放射線部門)

*3 原子力セグメント 電気計装技術部 主席技師

*4 原子力セグメント 原子力技術部 主席技師

*5 原子力セグメント 原子力技術部 次長

*6 原子力セグメント 原子力技術部

2. 運用保守における課題と解決策

1章で示したとおり、原子力発電プラントの運用保守における当面の課題は“①管理対象設備の増加”“②運用保守の人的負担の増加”“③技術伝承”の3点である。①の設備の増加に対しては、構成情報等の設備の統合的な管理と、目的に応じた情報収集と整理を行う必要がある。②の運用保守の負担増加に対しては、人的な作業の一部自動化や、判断を支援する情報の提供が有効である。③の技術伝承に対しては、教育訓練の実施と、ベテラン技術者が有する暗黙知の形式知化等を進めていく必要がある(図1)。

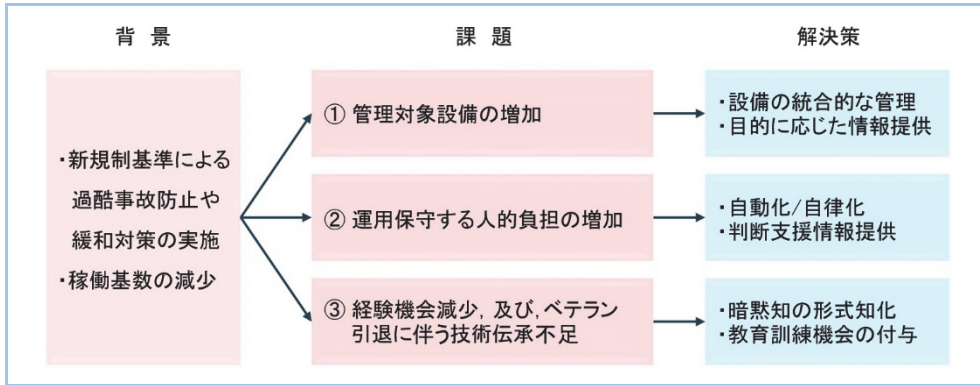


図1 原子力発電プラント運用保守の課題と解決策

原子力発電プラントではこれまで運転操作の自動化範囲拡大を進めてきたが、上記の課題①～③に係る運用保守業務は多くの人が介在するものが主体である。そのため、ここにデジタル技術を活用することが大きな成果に繋がる。デジタル技術の活用においては、

- データの収集・整備・補強により提供できる情報を強化
- データの加工・最適化により適切なタイミングで必要十分な情報を提供

を可能とし、原子力発電プラントの更なる安全性・信頼性、パフォーマンス向上に寄与する解決策の実現を目標とした。

3. “3つの観点のデジタルツイン”コンセプト

2章で設定した解決策の実現のため、当社では図2に示す“Functional Twin”“Physical Twin”“Locational Twin”の3つの観点からなるデジタルツインコンセプトを提案し、そのコンセプトに基づくデジタルソリューションの開発を進めている。

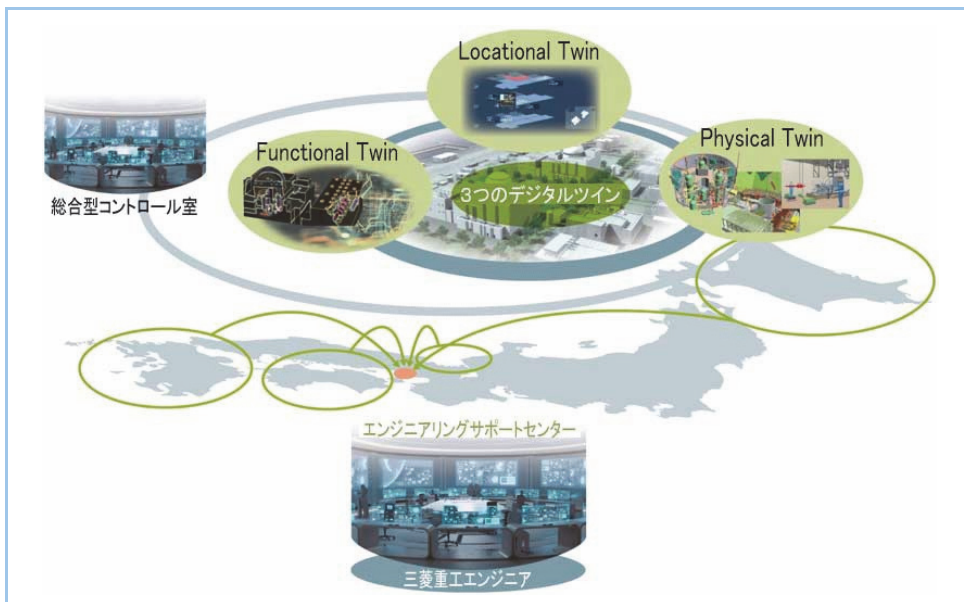


図2 “3つの観点のデジタルツイン”コンセプト

上記、3つの観点のデジタルツインは2章に述べた課題と解決策を実現する手段であり、その関係を図3に示す。

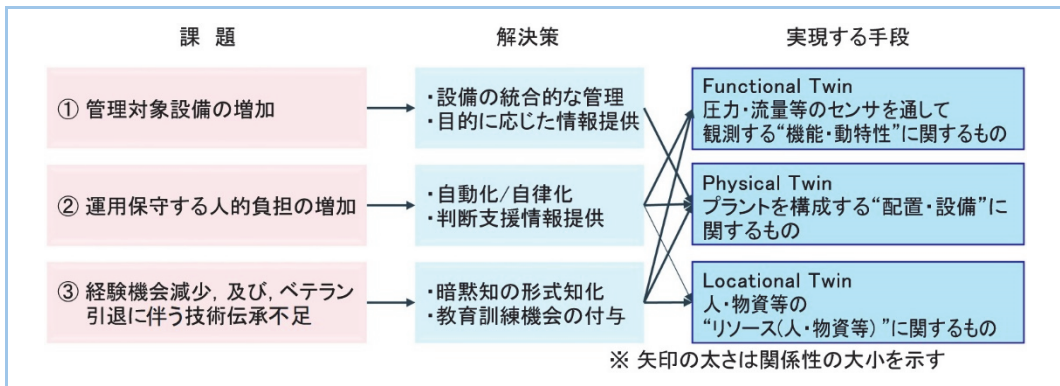


図3 課題・解決策と“3つの観点のデジタルツイン”の関係

この“3つの観点のデジタルツイン”は、プラントメーカーである当社の強み・経験を活かし以下の特徴を持ったものとしている。

- AI等の最新デジタル技術とプラント知見を組み合わせデータ強化する(センサで計測できないプラント状態や将来予測値の推定等)
- 当社のヒューマンファクタエンジニアリング技術、タスク分析技術等の活用により、得られたデータをタスクに応じた形に加工するとともに、適切なタイミングで提供可能とする

また、原子力発電プラントへの新規技術の活用にあたっては、高い安全性が求められるため慎重な対応が必要である。運用保守タスクの全てを自動化することが理想的であるが、例えば、AI技術は判断ロジックがブラックボックスであることが多く、原子力発電プラントの運用保守に必要な説明性・追跡可能性の観点で対応できない等の問題がある。

このため、AI技術等の高度なデジタル技術は上記の問題を考慮し、非定型・高度業務については“人の支援”機能として人が最終判断を行う形で活用し、定型・単純作業については“人の代替”機能として自動化を進める方針とする。なお、将来的なデジタル技術の進化を想定し“人の支援”機能の“人の代替”への移行については継続して取り組んでいく。

これらをまとめた全体像を図4に示す。次章では3つの観点のデジタルツインコンセプトのそれぞれに関して開発を進めている具体的なソリューション例について説明する。

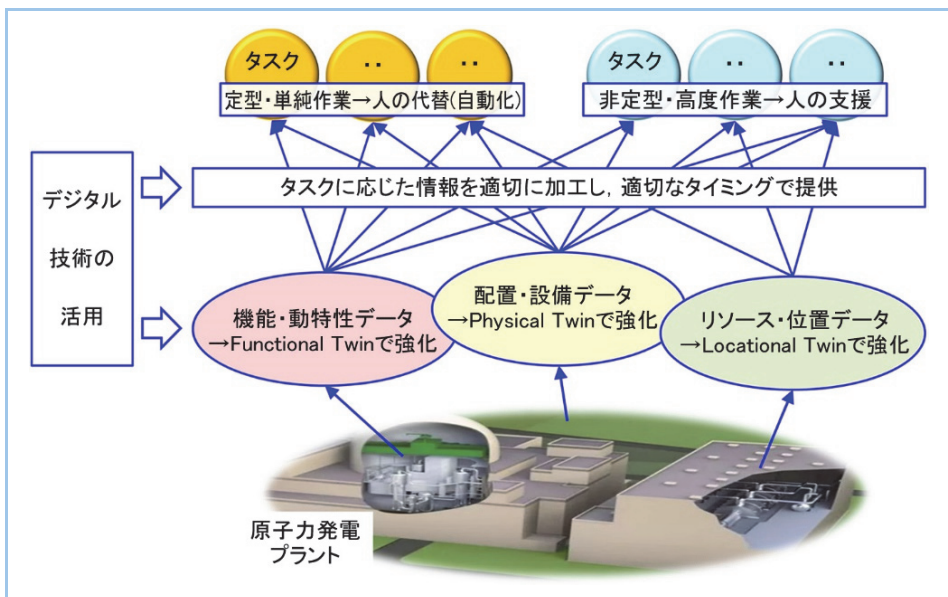


図4 “3つの観点のデジタルツイン”全体像

4. 具体的ソリューションの例

以下に“3つの観点のデジタルツイン”それぞれの概要と具体的なデジタルソリューションの事例について纏める。

(1) Functional Twin

✓ 概要

中央制御盤や現場から得られるパラメータ(例:圧力・流量・温度, 振動・電流)等の機能・動特性に係るデータを, 人が認知/判断し易いよう分析・加工し提供する機能である。更に, 現在の詳細状態や将来の状態予測を含めた状態の評価・最適化を施した情報として提供する。これにより, 2章に述べた②人的負担の増加や③技術伝承の課題に対する解決策を実現する。

✓ 具体的事例(異常予兆監視ソリューション)

複数パラメータの精緻な挙動を系統的に常時監視し, 正常/異常を早期に判定する機能, 異常顕在化後の要因推定/リコメンド機能を有す。本ソリューションの概要を図5に示す。設計根拠やプラント知見を活用し運用の実態に即したデータの前処理や, 要因推定/リコメンドに係る AI 学習を行った予兆監視モデルを開発しており, 有効性を確認している。現在, 本格運用に向けた最終実証中である。

今後, 開発済みの予測機能や各種評価機能の実装を進めると共に, 当社エンジニアとの連携も推進する計画である。

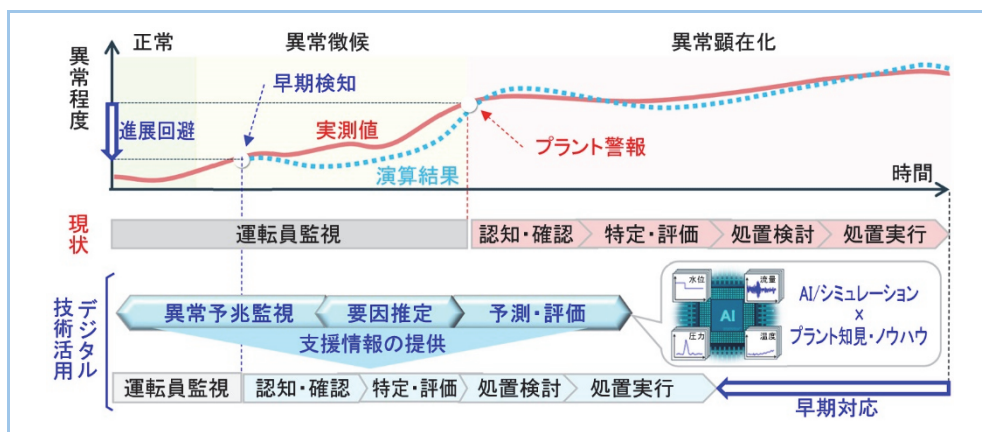


図5 異常予兆監視ソリューションの活用効果(概要)

(2) Physical Twin

✓ 概要

原子力発電プラントの配置・設備に係るデータを構造的に整備し, 人が認知/判断し易いよう, あるべき/最適な姿との重ね合わせ表示や 3D 形式の情報として提供する機能である。更に, 設備スペックや防護評価結果等も当該配置・設備に紐付く形として提供すると共に, 当社エンジニアやステークホルダと連携する機能を提供する。これにより, 2章に述べた①管理対象設備の増加や②人的負担の増加の課題に対する解決策を実現する。

加えて, 機能・動特性を扱う Functional Twin との相互連携により, 更に高度なソリューションへの展開も狙う。

✓ 具体的事例(EPC^{*1}+保守データ利活用ソリューション)

3D 情報等の設計・施工や設備保守履歴・現場画像等の情報を統合的に管理し, ビジブルに, 且つ, 目的に応じた適切なタイミングで提示することで, プラントライフにわたって有効活用が可能なソリューションを開発中である。これらを運用保守に活用することで, 設

備の構成管理や遠隔からの技術支援等が提供できる見込みである。図6に概要を示す。

今後、本システムをステークホルダーと連携していく計画である。

※1: Engineering (設計), Procurement (調達), Construction (建設(施工))の頭文字

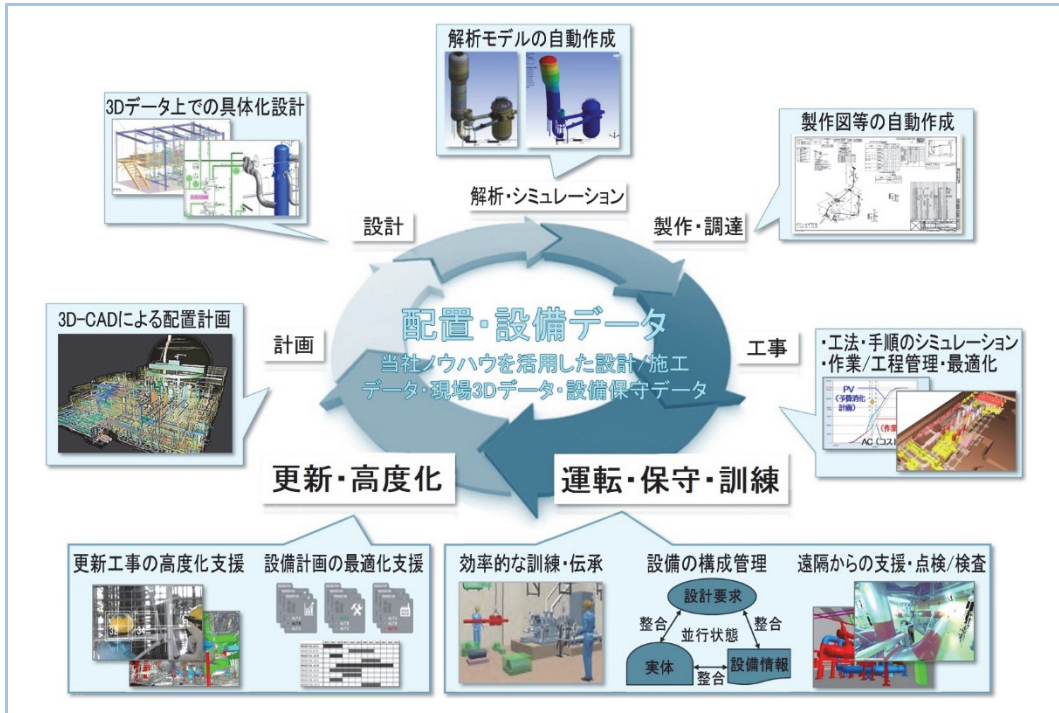


図6 EPC+保守データ活用ソリューション(概要)

(3) Locational Twin

✓ 概要

リソース(人や物資等)のデータの自動収集, 及び, 目的に応じた可視化等の加工・処理を行い, 人が認知/判断し易いよう最適な形で提供する機能である。対応方針策定及びその後の迅速な対応に寄与する情報を提供する。これにより, 2章に述べた②人的負担の増加や③技術伝承の課題に対する解決策を実現する。

更に, Functional Twin や配置・設備データを扱う Physical Twin との相互連携により, 人⇔データ⇔設備を有機的に連携させ更に高度なソリューションへの展開も狙う。

✓ 具体的事例(緊急時意思決定支援ソリューション)

当社のヒューマンファクタエンジニアリングのノウハウを活用し, 指揮統制者の状況把握・意思決定を支援する情報を適切に提供するソリューションを開発済みである。そのうち, 緊急事態や人員の退避要否を判断する基準である EAL^{※2}の監視・判断・通報タスク遂行を支援する EAL 管理支援システム⁽²⁾実装に向け, 電力会社のご意見を取り入れながらカスタマイズを進めている。図7に画面例を示す。このシステムは事故時だけでなく, 防災訓練等にも活用可能であり教育・技術伝承にも効果がある。

今後, 操作性向上を目指し開発中の音声認識/合成技術も実装していく計画である。

※2: Emergency Action Level 緊急時活動レベル



図7 意思決定支援システム(イメージ)とEAL管理支援システム(画面例)

5. まとめ

原子力発電プラントの運用保守における課題(管理対象設備の増加, 人的負担の増加, 技術伝承不足)に対する解決策として, 必要な3種類のデータ(“機能・動特性”“配置・設備”“リソース(人・物資等)”)に対応する“3つの観点のデジタルツイン”コンセプトとその実現に向けた具体的事例を示した。電力会社には本コンセプトや各種ソリューションの有効性に関してご理解を得ており, 電力会社のご意見を取り入れながらカスタマイズを順次実施し, 既設プラントへの実装に向けて導入・試運用を進めている。

今後も引き続き, 開発推進や意見反映を重ね, より効果的な機能提供を目指し運用保守の高度化支援を推進する。

参考文献

- (1) 三菱重工業株式会社, プレスリリース, 革新軽水炉 SRZ-1200 パンフレット
https://www.mhi.com/jp/products/energy/innovative_next_generation_pwr.pdf
- (2) 日本保全学会第19回学術講演会, EAL管理支援システム