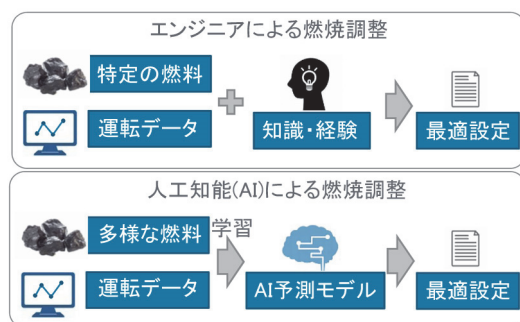


機械学習を適用したボイラデジタルツイン

Development of Boiler Digital Twin by Applying Machine Learning



相木 英鋭*¹
Hidetoshi Aiki

斉藤 一彦*²
Kazuhiko Saito

堂本 和宏*³
Kazuhiro Domoto

平原 悠智*⁴
Hirotomo Hirahara

小原 和貴*⁵
Kazutaka Obara

佐原 聡一郎*⁶
Soichiro Sahara

統計的処理を基盤とした人工知能関連の技術が近年注目を浴びている。人工知能はデータを学習する点に特徴があるが、稼働中の発電所からは刻々と運転データが生成されており、このデータを学習し、より良い運転状態を実現できれば、従来の制御を補完する柔軟な制御システムを構築できる可能性がある。本報では、発電所の経済性を高めてお客様の収益力の向上に寄与することが可能なデジタルツインの実装手順、機能概要、システム構成、台湾での導入事例を説明する。

1. はじめに

近年、電力自由化、再生エネルギーの導入等の市場変化によって柔軟な運用性能、O&M 最適化、性能向上がますます求められてきており、ICT(情報通信技術)、データサイエンス(ビッグデータ解析・人工知能技術等)の活用による各種サービスの開発が活発化している。

データサイエンスの活用の一例として、デジタルツインが挙げられる。デジタルツインとは、実在する機器や工場設備の情報を集めて、コンピュータネットワーク上のデジタル空間にリアルタイムで再現したものである。

三菱日立パワーシステムズ(株)(以下、MHPS)は、発電所の経済性を高めてお客様の収益力の向上に寄与するために、火力発電設備の運転を最適化する最先端技術を適用したデジタルソリューションサービス“MHPS-TOMONI”の提供を2017年から開始している。

石炭焚きボイラ向け“MHPS-TOMONI”のサービスメニューとしては、遠隔監視、異常予兆・早期検知、性能診断、効率改善等がある。このうち、効率改善に寄与するサービスとして、ボイラ向けのデジタルツインがある。ボイラ向けのデジタルツインは、火力発電用ボイラの圧力・温度・流量などの計測データを収集し、機械学習を含めたAI(Artificial Intelligence)技術及びMHPSのボイラメーカーとしてのノウハウを活用してコンピュータ上に実機と同じ挙動を示すボイラを再現するものであり、実機の制御装置へ最適な設定をフィードバックする。デジタルツインのイメージを図1に示す。本技術を発展させていくことで、将来的には自動自律運転の確立に近づくと考えている。

本報では、ボイラ効率向上や補機動力低減などに寄与するデジタルツインについて説明する。

*1 三菱日立パワーシステムズ(株) パワー&エネルギーソリューションビジネス本部 技監

*2 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ戦略部 課長

*3 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ技術部 課長

*4 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部ボイラ技術総括部ボイラ戦略部

*5 三菱日立パワーシステムズ(株) サービス本部長崎サービス部

*6 三菱日立パワーシステムズ(株) エンジニアリング本部プロジェクト総括部制御システム技術部

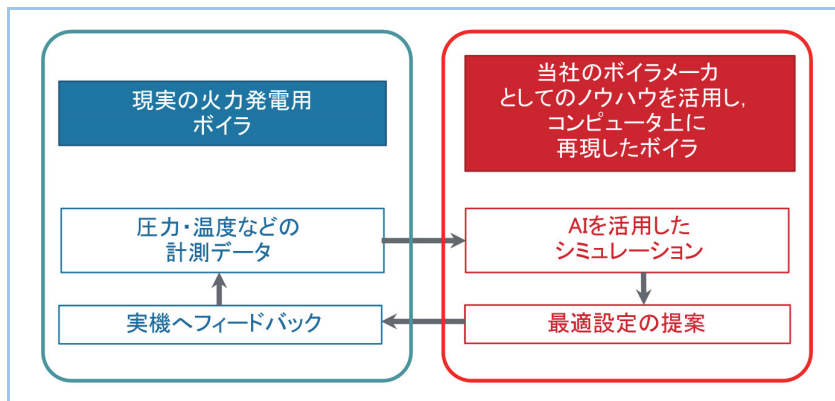


図1 デジタルツインのイメージ

2. 機械学習モデル

一般的に人工知能と呼ばれるものの基盤技術としては、ルールに基づく制御システム、推論システム、機械学習、ディープラーニング、などがありそれらの応用技術として、質問応答システム、検索エンジン、画像認識、自然言語処理、音声認識などがある。これらは人間の知的活動の一面を模擬する(工学的に実現する)技術である。

従来の火力発電所に納入されてきた制御装置にも自動運転機能があるが、この自動運転機能は、主として“特定の条件で作動可能な厳格なルールに基づくもの”であり、例としてプラントの起動停止機能が挙げられる。一方で、上記の人工知能を適用することでより柔軟な自動運転機能が開発できる可能性がある。機械学習を大きく分けると、教師あり学習・教師なし学習・強化学習に分けられるが、ボイラ向けのデジタルツインにおいて、圧力・温度・流量などの計測データを再現するために教師あり学習に分類される機械学習を使用している。

3. デジタルツイン実装ワークフロー

デジタルツインの実装には、お客様に内容を理解いただきながら、お客様の課題を解決するために以下のステップをとる。各ステップを図2に示す。

	アセスメント	PoC	実装	追加学習
成果物	レポート	レポート	レポート, アプリケーション, 学習済みモデル	学習済みモデル
契約	秘密保持契約書等	導入検証契約書	デジタルツイン実装契約書	追加学習契約書

図2 デジタルツイン実装ワークフロー

(1) アセスメント

発電所運営改善に関わる課題(例:燃料消費量削減, NOx 低減, 灰中未燃分低減, 補機動力低減)について議論する。さらに課題解決に対して、デジタルツイン構築が良い解決方法であるか、その他の解決方法があるかどうか議論する。また、運転データ保護のためにお客様と秘密保持契約を結んだ上で、一定量のデータを提示いただき、目的に沿った学習済みモデルの生成が可能か、データの量と品質を確認する。

(2) PoC(Proof of Concept)

学習済みモデルの生成・精度向上作業を行う。さらに、学習済みモデルを用いた最適化を机上検討として行う。デジタルツインを構築することで、どのようなメリット可能性があるか具体的

にお客様に理解いただく。

MHPSのボイラメーカーとしてのノウハウ(膨大な知識と経験, 物理現象の把握)と, お客様の運転・保守に関する知識・ノウハウを学習させ, 精度の高い学習済みモデルを構築する。

(3) 実装

実プラントにボイラデジタルツインを実装する。制御装置との取り合い検討, 制御装置との通信確立, 実プラントでの燃焼試験, 最適化試験を行い, メリットを定量評価する。

(4) 追加学習

お客様の要望に合わせて本項目は実施する。追加の学習用データセットを用いて, (3)で得た学習済みモデルをアップデートする。

4. ボイラデジタルツイン機能概要

デジタルツインの主要な機能について, 以下に記載する。

(1) 監視機能

ボイラ回りの主要なパラメータについては, 運転データを表形式ではなく系統図上に表示し, ユーザにとって見易い画面表示とする。水・蒸気系統, 空気・ガス系統, ミル周り, パーナ周り等の計測値を表示する。監視画面の例を図3に示す。

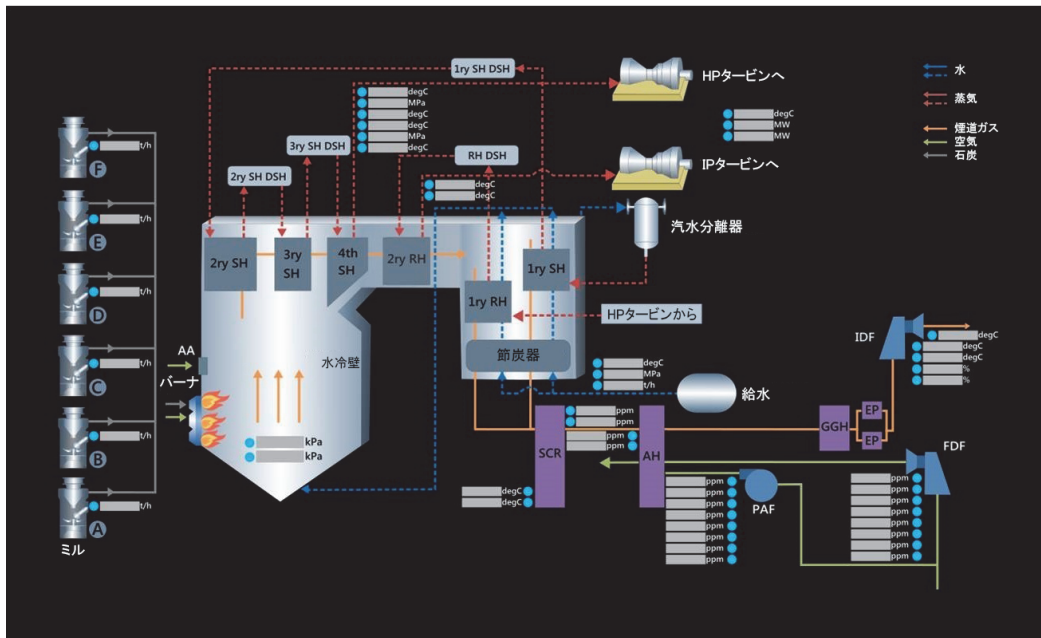


図3 監視画面の例

(2) 予測機能

学習済みモデルを用いて, プロセス値のリアルタイム予測が可能となっている。石炭焼きボイラは, 使用炭種が変化することにより, 一部のプロセス値(ボイラ特性)が変化しますが, MHPSは, 一般的に使用される中燃比炭だけでなく, 複数の炭種やバイオマス混焼の特性を予測可能な学習済みモデルを構築した経験がある。

(3) 最適化機能

燃焼調整においてベテラン技師が考慮する主要なパラメータに目標値を設ける。デジタルツインは, 経済性があり(例:燃料消費量やアンモニア消費量, 補機動力が下がる), かつ設定したパラメータが問題ない(目標値を満たす)最適設定を提案する。発電所の運転員は, 制御装置に最適設定を反映するか, 反映しないか選択が可能である。

発電所の試運転時に設定された各種操作端の設定(ダンパの開度設定など)は, 設計炭や試運転炭に合わせて設定されている。お客様の実際の運用においては様々な石炭が使用されており, 石炭に合わせてボイラ特性が変化する。また, 長年使用することによる経年変化によ

りボイラの特性は変化してくる。従来制御においても炭種の変化に合わせた設定の調整がなされる制御装置となっているが、上記のような変化に合わせて都度、より柔軟に、設定を調整することできめ細やかな最適運転が可能となり、運転コストを下げることができる。

(4) 目標値の変更

お客様のニーズに合わせて、目標値の変更が可能である。例えば、環境性能を重視してNOx 低減運転を行う、または経済性を重視して燃料消費量削減運転を行う、または図4に示すように環境性、経済性、運用性の両立した運転を行うことが可能である。

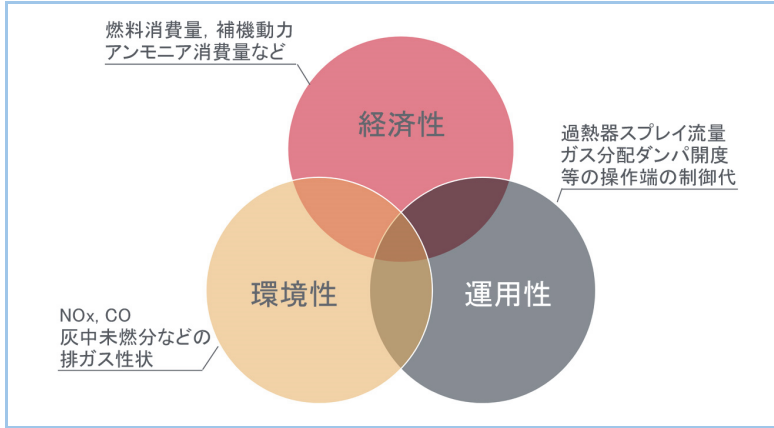


図4 デジタルツインが提案する最適設定

5. システム構成

システム構成については、以下の2ケース(図5)の実績がある。

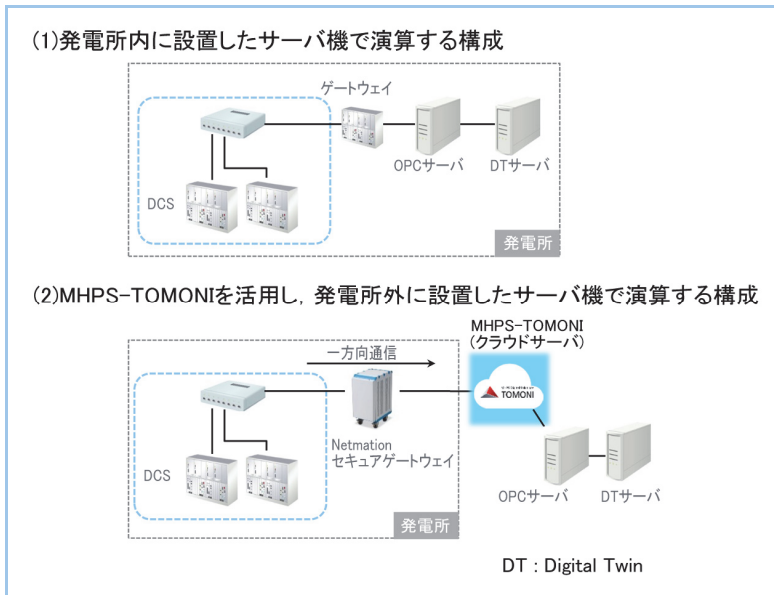


図5 システム構成

(1) 発電所内に設置したサーバ機で演算する構成:

発電所外のネットワークとは接続せず、プラント制御装置にデジタルツイン用のサーバを接続し、サーバで演算した最適なパラメータ設定を制御装置にフィードバックする構成である。お客様の任意のタイミングで最適設定を導出することができる。

(2) MHPS-TOMONI を活用し、発電所外に設置したサーバ機で演算する構成:

発電所からMHPS製のデータダイオード(一方向通信)であるNetmation Secure Gateway(以下NSGW)を介してMHPS-TOMONIに運転データを送信する。また、MHPS-TOMONIに構築しているデジタルツイン用のサーバで最適なパラメータ設定を、演算する構成である。

使用燃料の変更などお客様のご要望に合わせて演算し、MHPS からお客様へ最適なパラメータ設定を提案する。この構成の場合は、サーバで演算した最適なパラメータは制御装置へ自動でフィードバックされず、手動で変更する必要がある。

セキュリティ面として、MHPS 製 NSGW を使用する事で、プラントの外部ネットワークからのアクセスを遮断する事が出来る。従い、外部ネットワークからの攻撃が防御でき、セキュアなプラントネットワークを確保する事が出来る。

上記2ケース以外にも、お客様のメリットを考慮し、より良い構成を検討し提案していく。

6. 台湾/林口2号機導入例

6.1 燃焼調整最適化機能(Step1, 2)と運転コスト最適化機能(Step3)

台湾電力(台湾電力股份有限公司)/林口発電所2号機(800MW)において、実際にデジタルツインを導入した事例を紹介する。

Step1 として、システム構築及び実機運転データを使用した機械学習モデルの構築を行った。Step2 として、最適化試験を行い、燃焼調整(主に環境性と運用性)の最適化機能に特化したデジタルツインをアプリケーションとして実装した。これにより、複数のパラメータ(指示事項)を調整することにより燃焼バランスを整え、環境性、運用性に関わるプロセス最適化を行うことができるようになった。

Step3 として、上記 Step1, 2 の機能にボイラ効率や補機動力などの経済性に関わるプロセス値の変化を予測する機能を持たせ、デジタルツインが提案するパラメータに経済性改善効果(運転コスト最適化機能)を持たせた。また、多様な炭種のデータを学習させることで、機械学習モデルも多様な炭種に対応することが可能となった。図6に林口発電所に導入したデジタルツインの工程実績を示す。

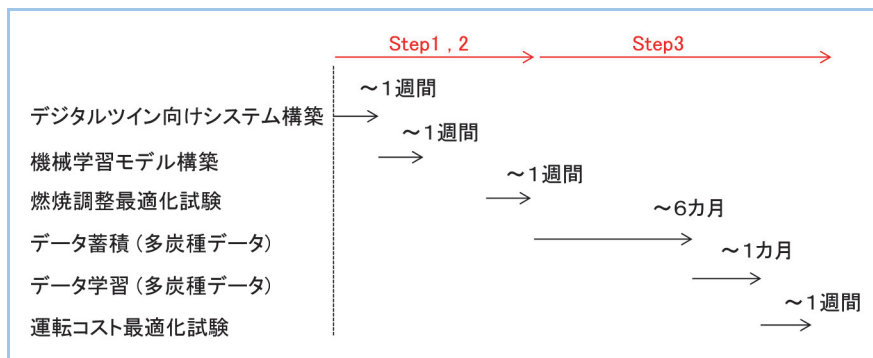


図6 デジタルツイン導入工程

6.2 導入結果と効果

Step1 では、複数のパラメータを動かしプロセスの変動傾向を機械学習モデルに学習させる試験を行い、精度の良いモデルを作成することが可能であることを確認した。Step2 として、学習させたモデルを用いてプロセスの最適化を行った。最適試験は目標値を変更させて、“排ガス特性や蒸気温度等をバランスさせた全体最適試験”や、“特定のプロセス値(NOx 等)に特化した最適試験”等を実施した。図7に Step1, 2 の燃焼調整の結果を示す。例えば NOx は制限値を 100%とした場合、ベテラン技師による調整で 70%程度の値に収まっているのに対し、デジタルツインによる調整においても 69%となり、ベテラン技師の設定と遜色ない調整が可能となったことを確認した。また、この際のデジタルツインによる予想値は 65%であり、実績値に対し良い精度で予測できている。この傾向はある制御範囲内に収める必要のあるスプレイ弁開度や、パネル毎に分布のあるメタル温度についても確認することができた。

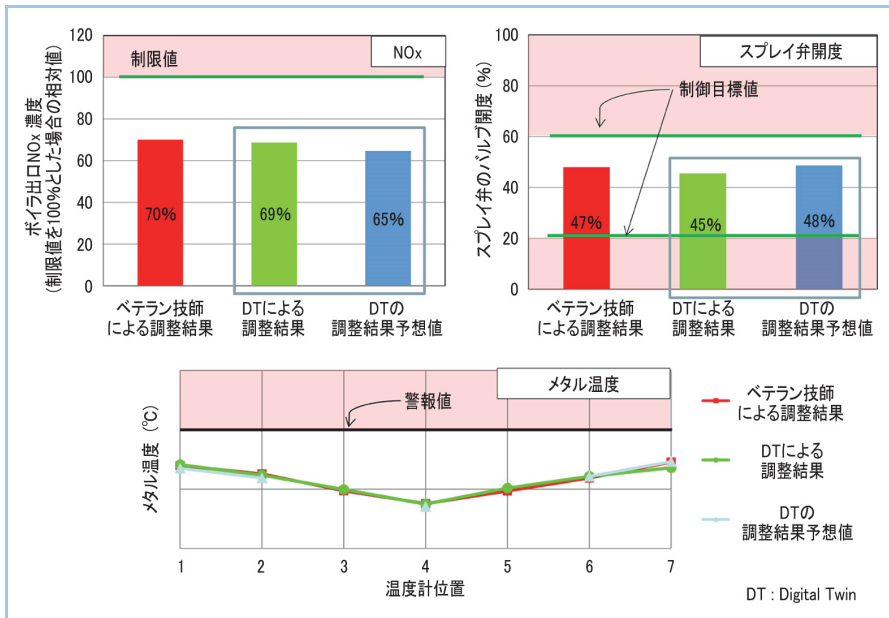


図7 デジタルツインによる燃焼調整結果

Step3 では、負荷変化等を考慮した制御裕度のある程度維持したまま、運転コスト最適化を重視した試験を実施した。図8に Step3 の運転コスト最適化機能によるコスト低減効果の結果を示す。ボイラデジタルツインをインサービスする前の状態を”ベンチマークコスト”とし、ボイラデジタルツインの制御結果によるコストの低減量を評価している。炭種や運転状態によりコスト低減効果は異なるが、試験では年間約1億円のコスト低減効果が確認された。

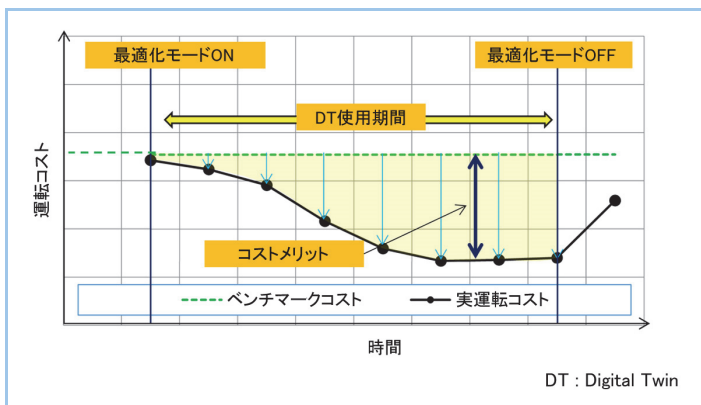


図8 デジタルツインによる運転コスト最適調整結果

7. まとめ

ボイラデジタルツインにより、お客様はニーズに合わせたメリットを享受できる。台湾電力/林口発電所2号機(800MW)においては、導入効果として年間1億円のコスト削減効果が実証された。

実装の前段階として、PoC 段階を導入することで、お客様に内容を理解頂きながら、実装可否を判断いただくワークフローをとっている。

世の中で注目をあびている人工知能技術の中には、本報で述べた機械学習よりも高度な技術が開発され、実用化されつつある。今後も新規技術と MHPS のボイラメーカーとしてのノウハウを組み合わせ、お客様の課題解決に貢献する機能の開発を続ける。

参考文献

- (1) MHPS ニュース 2018 年6月 11 日発行 第 215 号 <http://www.mhps.com/jp/news/20180611.html>
- (2) MHPS ニュース 2017 年1月 10 日発行 第 139 号 <http://www.mhps.com/jp/news/20170110.html>