



特集記事「AIと保全」(3)
 予兆監視システム (SIAT) と
 IBM Watson Explorer の連携による
 プラント監視技術の高度化

中国電力株式会社
 林 司 Tsukasa HAYASHI

1. はじめに

当社は、発電プラント(島根2号機)が蓄積している膨大なプラントデータいわゆるビッグデータに着目し、日本電気株式会社 (NEC) と共同で、このプラントデータを活用して、設備の異常を可能な限り早い段階で、かつ正確に検知する人工知能 (AI) を開発してきた。このAIはネットワーク障害対応用エンジン (SIAT (System Invariant Analysis Technology)) をプラント監視に応用した異常を早期に検知する予兆監視システムである。2013年には、プロトタイプシステムによりこれまで蓄積してきた島根2号機の運転データを用い種々の機能確認を行い、システムの有効性を確認し上で2014年に島根2号機に導入、同年運用を開始した。2015年には3号機に導入した。図1にSIATのプラント常時監視画面を示す。



図1 SIAT プラント常時監視画面

図1に表示されているのは、プラントの主要な系統である。表示の緑は系統が正常に運転中であることを示している。系統内の相関するセンサーデータがいつもと異なる動きをした場合、その相関の崩れの状態により系統表示は、緑(正常)から、黄(注意)、そして赤(異常)に変化し、警報を発報する。

2. システムの分析技術 SIAT の特徴

SIAT の特徴について簡単に説明する。

ネットワークを構成する機器は構成機器の変化が大きく、センサーからの観測データも変化が大きいため、どのセンサーの組み合わせに相関関係があるのか判定が難しいという問題点があった。SIAT は入手可能なセンサーデータなどの数値データを投入することにより、コンピュータで自動計算を行いシステムの「不変性(インバリエント)関係」を抽出し、データ間の不変性からネットワーク障害を検知するエンジンである。簡単に言えば、SIAT は関係性の少ない領域で関係性を持ったセンサーを抽出することにより障害を検知する。

一方、原子力プラントの個々のセンサーデータは互いに強固な相関性を有している。SIAT をネットワーク障害と異なりプラント監視に用いるため、相互に相関性を有しているプラントセンサーデータから、最も強い相関性を有しているセンサーを検知するアルゴリズムにカスタマイズした。SIAT は注目しているデータ間の不変性により異常を判断する。実際のプラントのセンサーデータは1対1で相関関係を持っているのではなく、数多くのセンサーが相互に相関関係を有している。従って、注目しているセンサーの相関関係ではなく、関連するセン

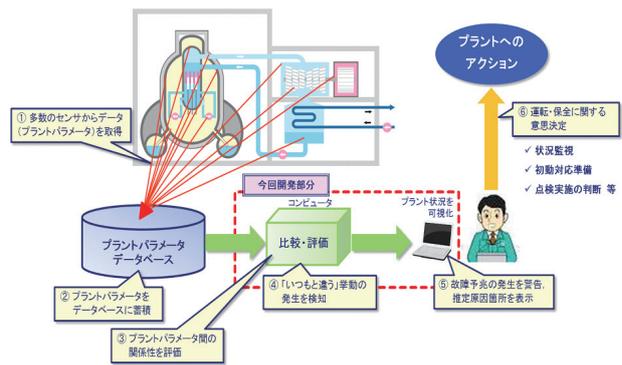


図2 SIAT を用いたプラント監視の概念

サーの相関関係が崩れた場合でも異常と判断する。以上から、早い段階で異常を兆候の段階で検知することができる。図2はSIATを用いたプラント監視の概念を示す。

3. SIAT による異常検知の仕組み

SIAT はまず、原子力プラントのセンサーデータから自動的に個々のセンサー間の関係性をモデル化する。図3は原子力プラントの個々のセンサー間の強固な関係性を示す。

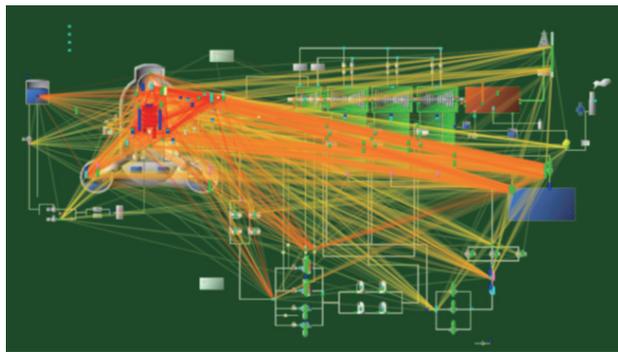


図3 個々のセンサー間の関係性

SIAT は現在の観測値（実測値）とモデルからの予測値を比較して、実測値が「いつもと違う」動きをしているかどうかを判断し、いつもと違った動きをしている場合、異常として検知する。図4はSIATによる異常検知の仕組みを示したものである。

従来、プラント監視は注目するパラメータに「しきい値」を設定し、その「しきい値」により異常の有無の監視を行っている。

前述のとおり、SIAT は種々のパラメータの相関性の崩れから異常を判断するため、あるパラメータに注目するとそのパラメータに関連する数多くのパラメータの動きも異常判定する指標となる。結果として、種々のパラメータの微小な変化から異常を判断することから、「し

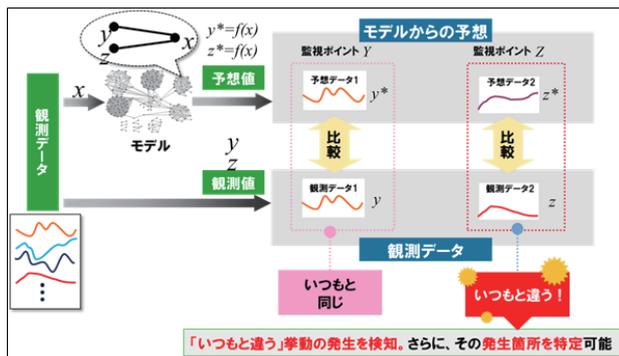


図4 SIATによる異常検知の仕組み

きい値」による監視に比べより早い段階で異常を検知できる。

図4はSIATによる異常検知の仕組みを示したものである。

また、SIATが異常検知に用いている予測式は過去の運転データ等を参照して、それをモデル化したものである。SIATは、これまで説明した通り過去の運転データ等ビッグデータからプラントの運転状態を学習し自動的に予測式を作成する。この自ら学習しモデルを自動的に作成する。図5-1に予測式の生成と関係性有無の判断を、図5-2に予測式と実測値を用いた異常判定の方法を示す。

予測式は1次式で表され、その係数は予測式と測定値の差(の絶対値)が最小になるように設定する。予測式は上下にある幅を持って設定されている。予測式と実測値を用いた異常判定では、実測値が予測値上下限界を逸脱したところで異常と判断する。

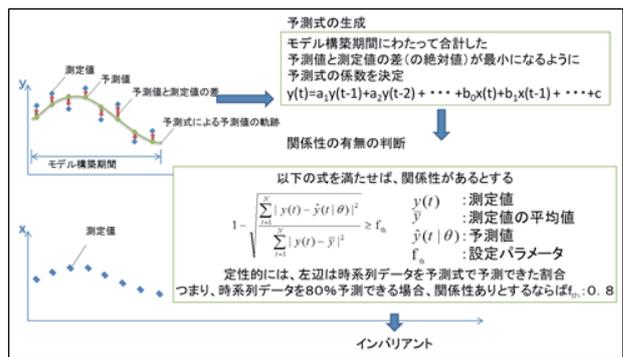


図5-1 予測式の生成と関係性有無の判断

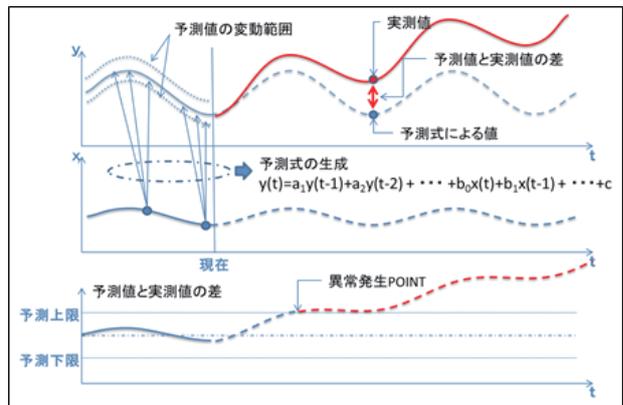


図5-2 予測式と実測値を用いた異常判定

4. 運転データを用いたSIAT機能検証

SIAT導入にあたっては、島根2号機のこれまで蓄積してきた運転データを用い様々な検証試験を実施することにより、システムの設計妥当性、機能の有効性他につ

いて十分に検証・確認した。

検証の結果として代表例として、島根 2 号機において 2006 年 10 月 13 日に発生した主蒸気圧力検出器からの微少な蒸気漏えい事象を挙げることができる。この事象を SIAT により分析した結果、運転員が検知するよりも 7 時間強早く検出器の異常を検知できていたことを確認した。図 6 に SIAT による異常検知結果を示す。

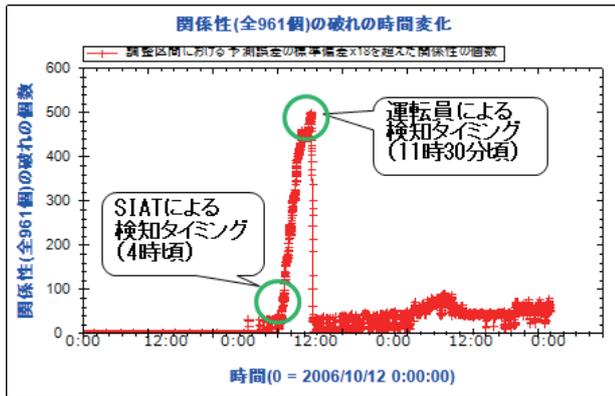


図 6 SIAT による異常検知結果

5. SIAT 開発の目的と経緯

SIAT が検知・捕捉した事象の展開や原因究明および対策については、現状、経験を積んだ運転員や保修士いわゆる熟練技術者の知識に頼るところが大きく、事象特定の過程から結果の最終判断までは「ヒト」に委ねることになる。

ヒューマンリソースが限られており、かつ、多くの熟練技術者退職という問題もあり、いつまでも全ての判断を「ヒト」に頼る訳にはいかない。

以上から、SIAT 開発にあたっては、

①経験を積んだ運転員・保修士にとっては、異常を除去するための時間をどれだけ確保できるか。

②若い運転員・保修士には原因究明や異常収束のために必要な対処法を決定するまでの時間をどれだけ短縮できるか。

ということを大前提に置きシステム設計を実施した。言い換えると、全て熟練技術者の知識や経験に頼っていた最終決定プロセスをシステムすなわち「機械=AI」に移管し、それを参照することにより経験の浅い若い運転員・保修士を含め誰でも同じ判断が短時間で可能ということが開発にあたっての大きなコンセプトである。

昨今、プラント運転・保守の経験を積んだ技術者の大量の退職に加え、福島第一原子力発電所事故以降プラントが長期停止しており発電所では運転中のプラントを知

らない世代の社員も増加しているのが実態である。従って、AIにより「ヒト」が代替を可能となることは、今後のプラント再稼働や安全・安定運転継続の成否を左右することになる。

経験の浅い若い運転員・保修士にプラント運用が世代交代しても熟練技術者の経験や知識を機械化し、熟練技術者に匹敵するシステムを構築し、「ヒト」のアシストとして活用できればプラントの信頼性・安全性を損なうことなく、更に向上させ安定して電力を供給し続けて行くことが可能となる。

当社が克服すべき課題は、まさに[「ヒト」=「原因究明・対策決定までの時間の短縮=熟練技術者の持つ経験と知識」]という事項である。この問題を克服するための手段は、「ヒト」を[「機械=AI」]で代替することに他ならない。以上から、SIAT と熟練技術者の代替である他の AI を組み合わせることにより一部のプロセスを「機械=AI」に担わせることができれば、この課題は解決できる。

6. SIAT の機能高度化の経緯と目的

6.1 克服すべき課題と対応策

「ヒト」に関する問題は非常に重要な課題であることから、この問題は当初から避けて通れない問題として机上で検討は継続してきた。この問題を代替する回答として、「原因究明アシスト機能」呼ぶ機能を SIAT 高度化のひとつのアイテムとしてシステム設計当初から検討を続けてきている。

「原因究明アシスト機能」を簡単に説明すると、リファレンスとなる過去の原子力プラントで発生したトラブルおよびトラブル未満(トラブル等)の事象により、トラブル等データベース(DB)を構築する。SIAT が検知した事象に対して、この DB に登録されている事象の中から類似あるいは同一事象として同定される事象を検索し、運転員・保修士に提供する。ただし、提供される DB からの事象は、「ヒト」が短時間で内容把握できる程度の件数に絞り込みが行われたものでなければならない。この機能が可能となれば、経験者に対する補助はもちろん退職して行く熟練技術者の知識や経験を代替することも可能である。この DB 化された事故・事象情報から SIAT の検知した情報により DB 内容を検索し、「ヒト」が短時間で内容把握できる件数まで絞り込み運転員・保修士に提示する機能を SIAT に組み合わせて機能させる他の AI に担わせることで計画を進めることとした。

この機能を活用すれば、経験の浅い若い技術者も経験者に近い判断を短時間で下すことができる。SIAT との

他の AI を組み合わせることによって、「ヒト」の得意とする分野と「機械」が得意とする分野を相互に関係づけ、運用していく過程では私たちの設計以上の相乗効果も得られることを期待している。

6.2 具体的な対応策

図 7 に他の AI との連携の概念を示す。

今回、初めて机上を離れて AI に [ヒト = 経験者] を代替する機能を持たせること、すなわち SIAT と他の AI システム連携について、実機 AI を用いた検証を実施した。

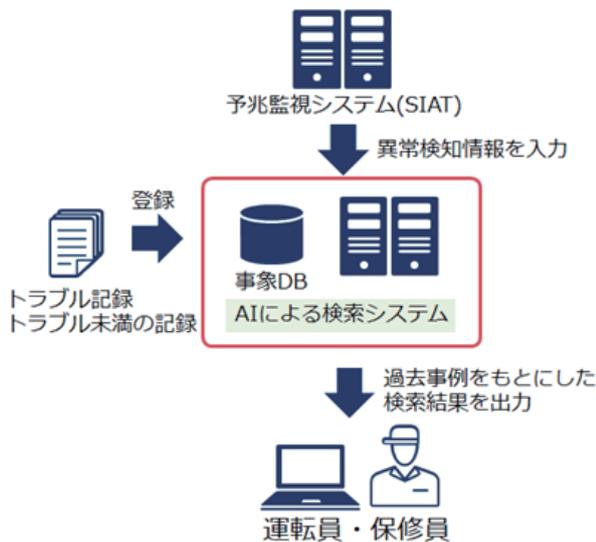


図 7 他の AI と SIAT 連携の概念

検証の内容を簡単に説明すると、SIAT に組み合わせた他の AI に、これまで過去国内の原子力プラントで経験したトラブル等 DB としてあらかじめ登録する。SIAT は検知・捕捉した予兆事象を、その事象を特徴づける「キーワード」に変換し組み合わせた AI に予兆情報として伝送する。組み合わせた AI は、自らが持つ検索機能により SIAT から通知を受けた事象に最も類似した、あるいは同一の事象を DB から検索し抽出する。DB から検索された事象は、「ヒト」が容易に内容を把握できる件数である数件から十数件まで絞り込まれたものである。

次に、SIAT と組み合わせる他の AI の選定である。選定にあたっては、医学、金融、工場管理および保守管理まで広範囲で活用されており、かつ、今後他のシステムとの連携、システム自体の拡張性等を考慮して検討を実施した。その結果 AI として、必要とする条件を全て満足している IBM Watson Explorer を適用することとした。

図 8-1、8-2 に SIAT からの事象情報、すなわちキーワー

ドにより IBM Watson Explorer が DB から類似事象あるいは同一事象へ絞り込みを行って行く過程を示す。



図 8-1 IBM Watson Explorer による事象絞り込み -1

図 8-1 は SIAT 側から「島根 2 号機」というキーワードを与えトラブル等の事象の DB から類似事象あるいは同一事として判断できる事象を約 40 件まで絞り込んだ状況を示す。



図 8-2 IBM Watson Explorer による事象絞り込み -2

図 8-2 は 40 件の事象にさらに「PLR」というキーワードを与え、最終結果としてさらに 4 件まで絞り込んだことを示したものである。

検証の結果 SIAT が検知した事象に対して、キーワードにより IBM Watson Explorer は類似あるいは同等な事象を数件から十数件まで絞り込み、提示できることを確認することができた。

7. システム構成・目的

7.1 IBM Watson Explorer 導入の目的

島根 2 号機は現在、技術基準への適合性審査中であり、当も他社同様、早期の再稼働を目指して日々努力をしているところである。審査後の再稼働に当たっては、プラントの長期の停止という観点から、これまで経験したこ

とない未知の領域と言っても過言ではない。従って、種々の事象の発生が懸念される。しかし、過去経験したトラブル等を教師データとして IBM Watson Explorer に登録・整理しておけば、SIAT が検知・捕捉したトラブル等の兆候に対して、早く正確に、類似事象あるいは同一事象として絞り込み原因、状況判断 / 進展予測、原因推定までを運転員・保守員に提示することが可能となる。この提示された情報を参考にすることにより不測の事態にも備えることができる。

このように、IBM Watson Explorer 上に事故等の DB を構成し、IBM-AI の持つ優れたカテゴリ分類・検索機能を用いて過去の類似の事象を抽出する。そして、異常が予兆段階のうちに早期に事象を分析し、運転員・保守員に周知することにより、早期の適切かつ確かな対応が可能となる。

今後、プラント再稼働、通常運転を考慮した場合、運転員・保守員の年齢構成、ヒューマンリソース面も考え信頼性の高い安全なプラント運営を行うためには、このようなシステムを設計・構築することは急務であると考えている。

7.2 IBM Watson Explorer の分析検索機能

IBM Watson Explorer は大量の文書を素早く解析し、その内容について様々な角度で分類する。特定用語について時系列での頻出度合い用語間の関連性・関連度合い、さらには感情分析など様々な分析が可能である。これらの機能を用いて大量の文書を分類し検索性の良い DB を構築することが可能である。

IBM Watson Explorer の検索は通常のキーワードによる検索ではなく文脈での検索が可能である。例えば「温度が異常に上昇した」、「温度が適切に上昇しなかった」という事象があったとする。前者は、温度上昇自体が異常事象だが、後者は、温度が上昇しなかったことが異常事象である。このような場合、単純に「温度」、「上昇」というキーワードの羅列だけで検索すると両件とも異常事象としてヒットしてしまう。

一方、IBM Watson Explorer の場合、まず「温度が上昇した例は？」のようにキーワードを文章にして問い合わせることが可能で、さらにその返答も前者の異常上昇したケースのみ提示するということが可能である。

7.3 システム構成および事象データベース

図9に SIAT と IBM Watson Explorer が連携したシステムを示す。

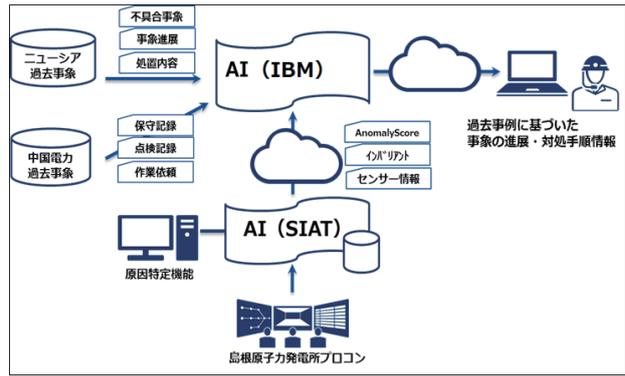


図9 SIAT/IBM Watson Explorer 連携システム

IBM Watson Explorer 上で展開する DB としては、国内の原子力プラントで発生したトラブル等が網羅できることが重要であることから、原子力安全推進協会 (JANSI) により公開されている原子力情報公開ライブラリー (NUCIA) の事故情報および保全品質情報約 3,900 件を用いることとした。さらに、この DB を補完する意味から、これらのデータに加え島根独自のデータである、島根 1、2 号機の不適合データを含む保守記録等も入力し DB の充実を図る計画である。2018 年 9 月末現在の NUCIA データの情報登録状況を表 1 および NUCIA 登録情報の分類を図 10 に示す。

情報区分	トラブル情報	保全品質情報	その他情報	合計
件数	1,204	2,716	2,754	6,674

表 1 NUCIA への情報登録状況



図10 NUCIA 登録情報の分類

今回の検証は、IBM Watson Explorer をクラウド上で取り扱ったことから、セキュリティも重要な扱いとなる。事象の検証とともに、サイバーセキュリティ面の検証も実施し、必要な個所に中間サーバ、データダイオード等を設置することにより、クラウド側から発電所の運転監視用計算機へ影響が及ばないように配慮した。

もちろん、クラウド上での運用ではなく、IBM Watson Explorer を SIAT 専用の AI として位置付けることも可能である。

現在、運用面、セキュリティ、経済性および拡張性等種々の分野からどちらが適しているか、どちらを選択するか検討を進めているところである。

7.4 SIAT-Watson 組み合わせによる保守

4.3 でも記載したが、IBM Watson Explorer の DB は言わば教師であるデータである。従って、データは公開されていることに加え国内のトラブル基準に適合していること等が必要十分な条件となる。また、SIAT と連携した場合、DB の情報には事象発生から原因究明、対策まで一連の対応が記載されていることも重要な条件である。これらを考慮するとデータとしては、前述のとおり、国内のトラブル等が全て網羅でき、事象の起承転結等必要な情報が全て含まれている JANSI の NUCIA データが最も適している。

将来、DB をさらに充実する観点から WANO の SOER 情報も加えられないか検討したい。

(1) IBM Watson Explorer への登録データ

- NUCIA 登録情報(国内の原子力情報(BWR/PWR))
- 島根オリジナルデータ
 - ・ 島根 1,2 号機トラブル記録
 - ・ 島根 1,2 号機出力制限等トラブル未満の事象
 - ・ 日常保守、定期点検記録(点検時の特記含む)、保守依頼票

(2) IBM Watson Explorer の活用

・SIAT との連携(SIAT が捉えた異常の兆候をキーワードその他で検索、DB から類維持事項または同一事項を検索、対策が完了した後、IBM Watson Explorer DB に当該事象をフィードバックし DB の充実を図る (DB の充実)

・ 検索した過去のトラブル等は「ヒト」が短時間で内容把握できる数件から十数件に絞りこんで提示

(3)SIAT が検知・捕捉した予兆との連携

SIAT が捉えたプラントの異常に至る前の状態すなわち予兆を IBM Watson Explorer の DB である NUCIA データに精度良くヒットさせることが最も重要である。SIAT と IBM Watson Explorer をどのようにして関連付けるかが重要である。SIAT と IBM Watson Explorer を関連付ける方法として、現在、SIAT が検知した事象を関連キーワードに変換し、このキーワードを IBM Watson Explorer に伝送する。IBM Watson Explorer はこのキーワードにより高確率で DB から適切な事象を抽出する仕組みとしている。

今回の検証に用いたキーワードは類似事象検索の鍵

として、現時点で最も適切であると考えている。常に SIAT- IBM Watson Explorer 連携システムが最適な状態を保持し、類似事象の高速かつ、高確率な一致の観点では、運用しながら最適なキーワードを見つけ出し、選定していくことがこの AI 組合せシステムにとって機能を維持するための重要な手段である。

8. 結び

今回、SIAT に他の AI である IBM Watson Explorer の連携システム検証を実施した。結果から過去経験した国内の原子力プラントの事故、事象の分析のあるプロセスの一端を「ヒト」以外、すなわち「機械=AI」に担わせることが可能であることが検証できた。さらに、この連携により机上での検討通り、事象が異常に至る前に状態把握、原因推定、対策までを DB から「ヒト」が早期に内容把握できる件数まで絞り込むことができることも確認できた。

しかし、7.4. (3) で説明したとおり、本システムでは高速で、かつ正確に DB から類似事象を抽出すること大前提である。また、本システムでは高速で、かつ正確に DB から類似事象を抽出すること大前提である。よって、今後もシステムを運用しながらより適切なキーワードを設定することを目的として、さらに検証を進めて行く計画である。

実際に AI を活用して実施した組合せシステム検証の結果、設計上克服すべき全ての課題がクリアとなったことから、社内の正式手続きを行ったうえで早急に具現化する計画である。

加えて、SIAT を状態監視に用い既に導入済みの統合型保全システム (EAM) と組み合わせることにより、「機器の分解点検周期」を適正化し、不必要ないじり壊しを

統合型保全システム(EAM)への情報フィードバック検討中

- ①保全の高度化 (リアルタイム状態監視によるCBMへのフィードバック)
- ②監視の高度化 (保守計画情報、過去の保全情報の活用)

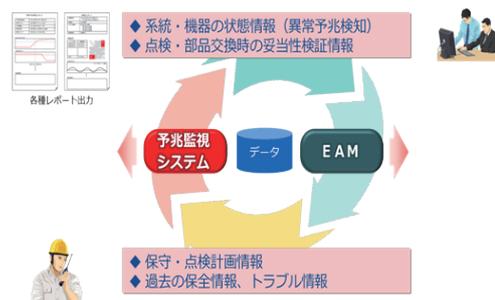


図 11 EAM との連携の概念

防止する等保全の信頼性向上も図って行きたいと考えている。図11にEAMとの連携の概念を示す。

最後に、SIAT本来の目的である異常を兆候の状態で見え、他のAIの組み合わせにより経験豊富な技術者と同等の知識を「機械」が「ヒト」に提示することにより、

① 経験年数に関わらず若い運転員・保修員も熟練技術者同等の適切な対処ができるようシステムの高度化を実現すること。

② 設備管理および運転管理の品質向上を図り本来の姿である異常を発生させない適切な保全を実現すること。

という目標を達成する。

そして、SIAT、IBM Watson Explorer 組合せシステムにより、これらふたつの目標の達成し最終目標であるプラントが固有に有する安全性を可能な限り高め島根原子力発電所を地域のみならず信頼され安心される原子力発電所として行きたいと考えている。

【謝辞】

DB構築にあたり、NUCIAデータ等の供与に快諾頂き電子データまで供与頂いたJANSIのみなさま、DB構築とAIの組み合わせについて、多大なご指導とご協力を頂いた宮健三東京大学名誉教授、日本IBM、NECおよび株式会社IIUのみなさまには、この紙面をお借りし感謝の意をお伝えしたい。

参考文献

- [1] www.ibm.com/jp-ja/
IBM ホームページ
- [2] www.nucia.jp
一般社団法人 原子力安全推進協会ホームページ
原子力情報公開ライブラリー (NUCIA)
- [3] jpn.nec.com/ai/solution/optimization.html
プラント監視故障予兆監視：ソリューション | NEC
- [4] jpn.nec.com/techrep/journal/g15/n02/pdf/150213.pdf
NEC 技報 Vol.68 No.2/ICT が拓くスマートエネルギーソリューション特集 “インバリエント分析技術 (SIAT) を用いた発電所向け故障予兆監視ソリューション - NEC”

(2019年6月●日)