

# 保全最適化に向けた仮想プラント構想

## Concept of Virtual Plant for Maintenance Optimization

株式会社 IIU	高瀬 健太郎	Kentaro TAKASE	Member
株式会社 IIU	児玉 典子	Noriko KODAMA	Member
株式会社 IIU	宮 健三	Kenzo MIYA	Member

In this paper the virtual plant concept for optimization of maintenance in nuclear power plant is proposed. The purpose of the virtual plant is the enhancement of accountability for general public. Functions of virtual plant are discussed. They are the visualization of plant information, the optimization of resource management, and the assessment of maintenance schedule.

Keywords: Concept of Virtual Plant, Safety of Nuclear Power Plant, Maintenance Database, Maintenance Optimization, Enhancement of Accountability

### 1. 緒言

我が国の原子力発電所の安全性は、非常に高いレベルに維持されているものと考えられるが、その事は誰にでも明らかだという訳では無い。今後はこれを客観的に評価して、一般公衆に対し分かりやすく伝達する技術が望まれる。

仮想プラント構想は、計算機上に構築したプラントに、実際の保全活動によって得られる各種データや、運転実績に基づく指標を取り込んで、既存の知見や確率論を基にプラントの弱点部を発見し、安全性・信頼性を客観的に評価しようとするものである。

一方、平成 20 年度から導入されている新検査制度では、それまで一律だった検査からそれぞれのプラントの運転期間とその経過状況を考慮し、きめ細かい検査を行うこととしている。また各事業者は、保全データの評価に基づき、他プラントの経験、技術的知見等を考慮して、保全の方式、頻度等を見直して定め保全プログラムに規定する。

このような状況の中、今後構築していく仮想プラントは、原子力発電所の保全関係者が対外的な説明責任を果たすのに、有用なツールとしての性質を持つことが望まれる。

本稿では仮想プラント構想の提唱と、それを構成する各要素について、断片的では有るがイメージ化を試み、関連する IIU の研究活動についても一部紹介する。

### 2. 仮想プラントを取り巻くデータベース

原子力発電所の保全に関するデータベースは膨大である。それらは事業者毎に異なる構成を持ち、日々の保全活動の中で運用されている。

仮想プラントへの入力としてのデータベース構築に際しては、これらの既存の資源の有効活用が望まれるが、ここでは概念としてのデータベース構成を示す (Fig.1)。

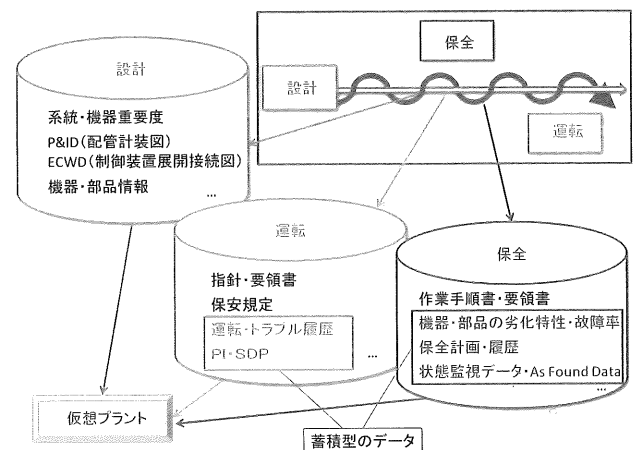


Fig.1 Database for a Virtual Plant

Fig.1 の構成では、データベースは「設計」「運転」「保全」に関する情報から成り、これらのデータベースは静的なタイプのデータと蓄積されるタイプのデータを持っている。

設計に関する情報としては、P&ID (配管計装図) や ECWD (制御装置展開接続図) といったプラントの物理的な構成情報や、系統・機器重要度といった安全上の機能に関する情報等がある。これらは基本的には静的な情報であるが、プラントの運用に伴って新しく得られる知見に基づいて、機器の材料・構成を変更する等の更新が行われる事もある。

運転に関する情報としては、運転マニュアルや遵守

連絡先:高瀬健太郎  
〒110-0008 東京都台東区池之端 2-7-17  
株式会社 IIU  
電話:03-5814-5350、E-mail:takase@iiu.co.jp

すべき保安規定等のルールが静的情報としてあるが、特に重要なのは、プラント運用に伴って初めて得る事が出来る、運転実績・トラブル経験等に関する情報である。ここでは、PI (Performance Indicator, 安全実績指標)やSDP (Significance Determination Process, 重要度決定手法)といった一般公衆に公開され、客観的に評価する事の出来る情報があり、これらの情報を総合的に分析する手法の開発が望まれる。

保全は対象となるプラント(設計)と、劣化を引き起こす運転があって初めて存在することから、Fig.1では、保全に関する情報は運転情報と対をなす存在として位置付けられている。ここでは機器に対する主要な劣化モードが整理され(例:経年劣化メカニズムまとめ表)、保全計画立案の際の基本的な情報として利用される。機器・部品の劣化特性・故障率等のデータはプラント運用経験に伴って更新されていく/されるべき情報であり、データ蓄積の為の体系的な取り組みが重要である。また、平成20年度の新検査制度の導入以降、状態監視技術の適用、As Foundデータの有効活用の重要性が高まっており、保全学会においても広く議論されている所である。

### 3. 仮想プラントの役割

#### 3.1 仮想プラント構築の意義

仮想プラントは前節の様なデータベースをインプットとして、何をアウトプットとするのか、それは従来運用されている設備管理システムと何が異なるのか。

各事業者が現在運用、あるいは構築しようとしている設備管理システムは、プラント運用の為のシステムであり、資産の効率的な利用を目的とする。

一方、仮想プラントの意義は、一般公衆に対する説明能力の強化と、関係者が保全のありべき姿を議論するための共通基盤を提供することにある。

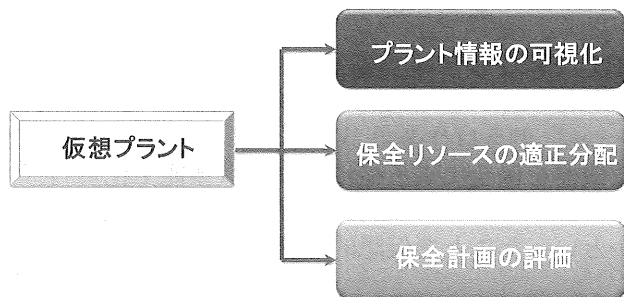


Fig.2 Purposes of Virtual Plant

Fig.2は仮想プラントが有すべき情報処理機能の例である。ここで示したのは「プラント情報の可視化」「保全リソースの適正分配」「保全計画の評価」であり、以下それぞれのイメージを述べる。

#### 3.2 プラント情報の可視化

本稿冒頭でも述べた様に、プラントの安全性に関する情報を客観的に評価して、一般公衆に対し分かりやすく伝達する技術が望まれている。

原子力発電所はその潜在的に有する危険性から、現在のプラントの状態がいかに安全であるか、また今後それをどの様に維持していくかについて、一般公衆に対して説明責任があると考えられる。仮想プラントはその一助となることを目的とする。

Fig.3に示す様に原子力発電所の安全性については社会的な要求がある。一方、電力供給は公共性の高い、我が国の生産活動の根幹をなすものであることと、そもそも経済活動の一環でもあることから、当然経済的な目標も存在する。Fig.3ではこれらの目標をそれぞれ安全性目標、及び経済性目標としている。これらは、保全学会の「保全法則」に合致している。

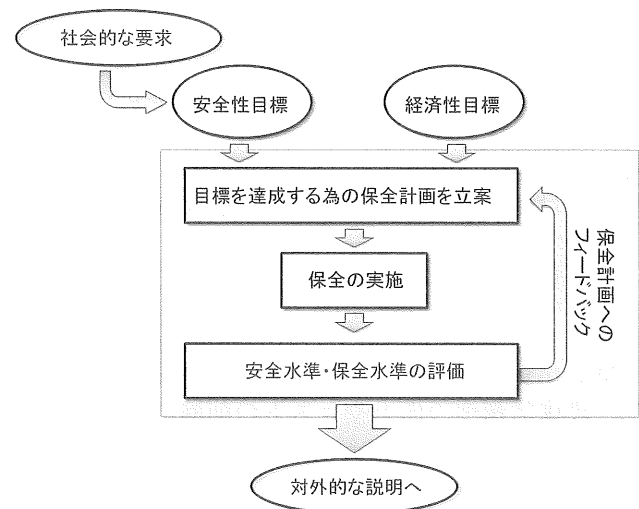


Fig.3 Safety and Maintenance Level

現在、保全学会では保全水準の検討が行われており、それは安全性目標と経済性目標の両立を目指すものである。ここでは、安全水準及び保全水準の定量化が望まれている。

それらの評価手法としては、PSA (Probabilistic Safety Assessment, 確率論的安全評価)等の確率論的手法に基づくリスク評価手法や、運転実績に対して点数を設定する等の決定論的手法の適用が考えられるが、いずれにしても数値化して議論できる環境を整備することが重要である。

原子力発電所の安全性に関する社会的な要求は、際限の無いものではなく、現実的な範囲にてなされるべきである。「角を矯めて牛を殺す」(少々の欠点を直そうとしてかえって全体を駄目にするの意)ということわざがあるが、例えば、安全上問題の無い事象を殊更大きめに扱うことで、事業者の活動を硬

直化してしまえば、人材・資源の有効的な活用が阻害される事に成りかねず、さらには我が国の体力、国際的競争力を削ぐ事にも繋がりにかねない。

安全・保全水準の定量化は、保全をどこまでやれば良いかを議論するための土台であり、その目標が定量化され、それを満足していることが明らかであれば、それ以上の詳細は事業者の裁量に委ねられるべきである。

仮想プラントでのプラント情報の可視化は、PIやSDPといった実績や、CDF等の評価データをもとに、安全水準・保全水準を示す各種指標を整理して提示し、或いは故障事例の分析等でプラントの弱点部分を発見するものである。

さらに理想をいえば、古典力学の質点運動における、現在の位置と速度（加速度）から将来の位置を予測する運動方程式とのアナロジーより、事業者の安全性向上に資する取り組みについても定量化可能ならば、それは将来の安全性の予測にも繋がる。

### 3.3 保全リソースの適正分配

仮想プラントの第2の目標として保全リソースの適正分配に資する情報の提示が挙げられる。先に述べた様に安全性目標が満足されているという条件下で、事業者は保全リソースの分配について裁量を持つものとする。

事業者が有する人的・物的な保全リソースは有限であるので、「いつ」「どこで」「どのように」保全タスクを行うべきか、リソースの適正分配が望まれる。同じ保全リソースでも、適切な分配によって保全の効率化、設備信頼度の向上やコストの削減が期待出来る（Fig.4）。

このような考え方を延長したものとして、システム化規格がある。システム化規格は、材料、設計、検査、保全等に関する規格基準に含まれる技術項目間での裕度分配を可能にすることで、全体として過剰な裕度を削減し、真に合理的な設計を実現するための柔軟な技術体系である。現在、日本がリードする形で活発な検討が進められている。

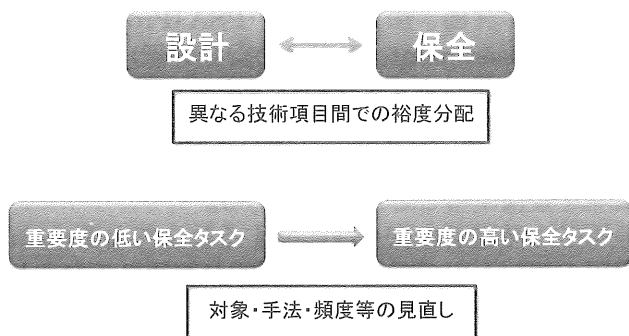


Fig.4 Optimization of Resource Management

また、LRFD (Load and Resistance Factor Design) 法という設計手法がある。従来の決定論的設計手法では、材料や構造の持つ強度、及びそれに係る荷重についてのバラつきに対して、経験的な安全率を用いることで、安全裕度を担保してきた。LRFD法では確率論を利用し、強度や荷重のそれぞれを確率変数と見なし、それらの分布関数を考慮することで、構造物の信頼性を破損確率という概念によって評価する。例えば、強度のバラつきが小さい材料ならば、部材の厚さを低減出来る等の効果が得られる。IIUでは、配管系に対してLRFD法を適用し、検査頻度と設計のバランスを最適化する手法の開発を行っている。

### 3.4 保全計画の評価

仮想プラントの第3の目標は保全計画の評価である。Fig.5に示す仮想保全の概念は、計算機上で機器・システムに関するデータベースを活用して、保全の効果とプラントの弱点部を予測するというものである。ここでの予測は、必ずしも正確である必要は無く、充分保守的に評価されていることが保証されていれば良い。

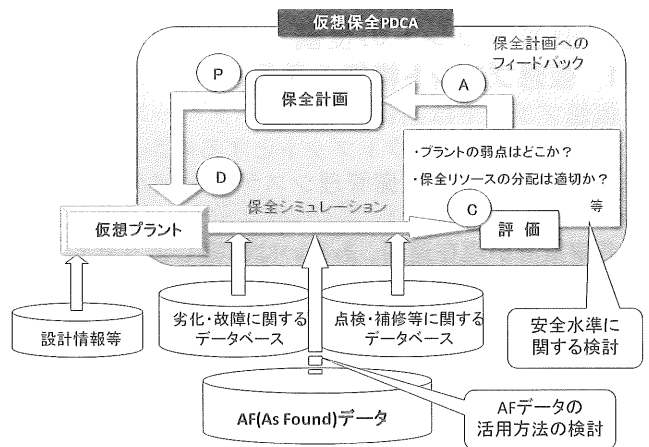


Fig.5 Image of Virtual Maintenance

IIUでは定検工事実施計画の自動作成ツールの開発を行っている（Fig.6はその出力例）。その目的の一つは、例えば作業員がスキルアップすることで複数機器を保全出来る様になれば（多能工化）、どの様に保全コストの低減や作業効率化に効果があるかといったことを仮想的に評価することである。

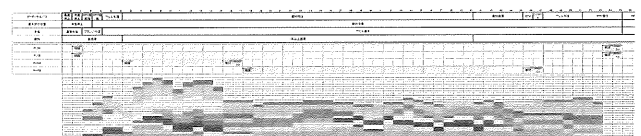


Fig.6 Example of Maintenance Schedule

また、Fig.7はソフトウェア化した仮想プラントのイメージ例である。P&ID上で、或いはユーザが自由

に移動できる 3D 化したプラント上で保全作業の進行状況を表示している。定検工事中のプラント内部の作業の様子を（公開できる範囲で）可視化することで、関係者が保全計画に関して議論するのに有用なツールとなることが期待できる。これは 3.2 節で述べたプラント情報の可視化の一環でもある。

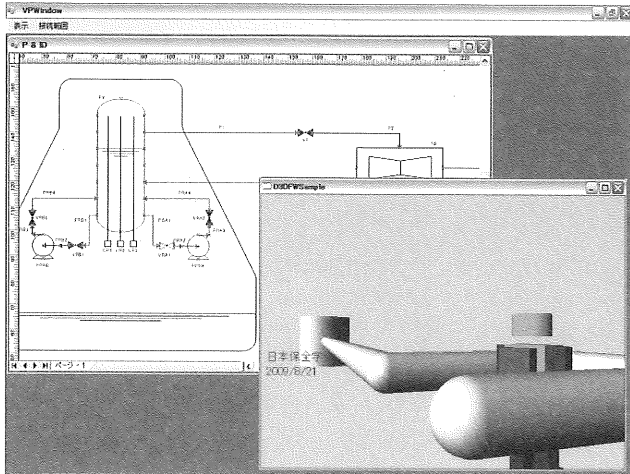


Fig.7 GUI Image of Virtual Plant

#### 4. 結言

我が国の国際的競争力の確保において、原子力エネルギーの効率的な利用は重要である。状態監視技術の積極的な適用や As Found Data の有効活用に向けた動きなど、保全の高度化は絶えず進められているものの、保全リソースの有効活用という観点において未だ改善の余地は大きい。

今後のスムーズな保全高度化のためには、安全性の確保に対して明確な基準が設定されることが必要である。そのための安全水準・保全水準に関する定量化については保全学会において議論が進められているところである。

その様な背景の下、一般公衆に対する説明能力の強化と、関係者が保全のあるべき姿を議論するための共通基盤を提供するための仮想プラント構想について提唱した。

また、「プラント情報の可視化」「保全リソースの適正分配」「保全計画の評価」といったテーマについて断片的ではあるが、そのイメージを示した。

今後は、全体の方向性についてのさらなる検討と、必要とされる個別の要素技術の開発を進めていきたい。

