

沸騰水型原子力発電プラント向け総合化学管理システム

Advanced Chemistry Management System for Nuclear Power Plants

前田 克治
MAEDA Katsuji

小林 康弘
KOBAYASHI Yasuhiro

長沢 克己
NAGASAWA Katsumi

沸騰水型原子炉(BWR)発電プラントの化学管理は、プラント構成材料・機器の健全性維持、放射能の低減、燃料の健全性維持、放射性廃棄物の発生低減、水処理設備の性能維持監視、及びプラント使用水の有効利用など多岐にわたっている。更に、プラントの安全性、信頼性の維持・向上並びに長寿命化のために、プラントの化学管理に関する信頼性の向上、化学管理技術の高度化がますます重要になっている。プラント化学管理のためには、多くの化学関連データを、迅速かつ正確に評価することが要求されており、化学データの迅速かつ効率的な収集と高度で多様なデータ評価を行うために、総合化学管理システムを開発し、実機に適用している。

Chemistry control in a boiling water reactor (BWR) plant has a close relationship with radiation field buildup, fuel reliability, integrity of plant components and materials, performance of the water treatment systems and radioactive waste generation. Chemistry management in BWR plants has become more important in order to maintain and enhance plant reliability. Adequate chemistry control and management are also essential to establish, maintain, and enhance plant availability.

For these reasons, we have developed the advanced chemistry management system for nuclear power plants in order to effectively collect and evaluate a large number of plant operating and chemistry data.

1 まえがき

BWR 発電プラントの化学管理は、プラント構成機器・配管の健全性維持や放射線量率の低減、放射性廃棄物の発生低減などの観点から重要な役割を果たしている。また、近年プラントの健全性・安全性の維持や運転寿命の延長の観点から、化学管理に関する要求が更に高まってきている。

これらの背景を踏まえ、BWR 発電プラント化学管理の高度化及び信頼性向上のために、総合化学管理システムを開発してきた⁽¹⁾⁽²⁾。

以下に、BWR 発電プラント向けの総合化学管理システムの概要と特長について述べる。

2 総合化学管理システムの概要

総合化学管理システムの機能は、図1に示すように化学データや運転データを効率的に収集・処理する業務支援機能と、これらのデータを用いてプラントの化学的な異常兆候や不適合事象を早期に検知し、その原因究明や対応処置を提示するエキスパート診断機能に分類される。

総合化学管理システムの構成例を図2に示す。システムは、ユーザーインターフェースの充実とコスト低減を考慮し、基本的にはパソコン(PC)を用い、クライアント/サーバ型ネットワークシステムで構成している。また、LANを用いたオンライン処理やハンディターミナル(HT)を利用してデータ収集の効率化

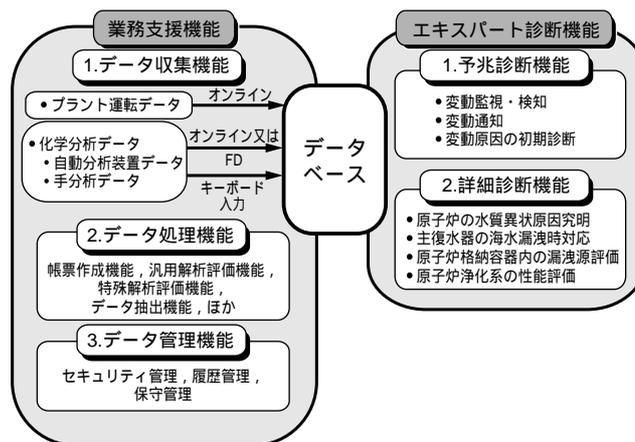


図1. 総合化学管理システムの機能 総合化学管理システムは、データベースを中心に業務支援機能とエキスパート診断機能で構成される。

Functions of advanced chemistry management system

を図っており、収集されたデータは、サーバPCに共通データベースとして一括管理される。この共通データベースを利用し、分散配置されたクライアントPCを用いたデータ処理・評価を同時に、かつ効率的に実施することが可能となった。

3 総合化学管理システムの特長

総合化学管理システムは、業務支援機能とエキスパート診断機能の二つから成っている。それぞれの機能の主な特長を

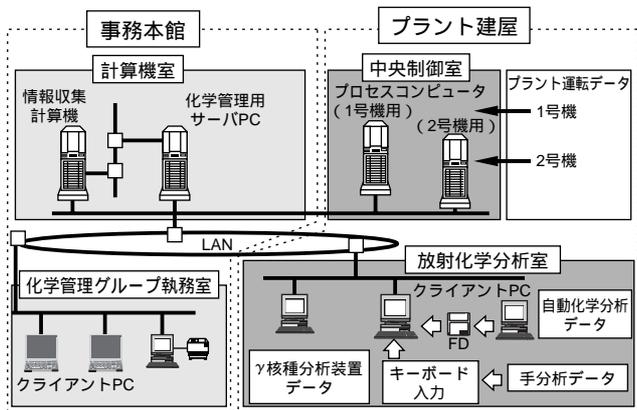


図2. 総合化学管理システムの構成例 事務本館とプラント建屋はLAN回線で結ばれ、プラント運転データや化学分析データはこれらのLANを経由して収集される。

Configuration of advanced chemistry management system

以下に述べる。

3.1 業務支援機能

業務支援機能は図1に示すように、データ収集、処理、管理機能に分類される。

3.1.1 データ収集機能 化学データ、プラント運転データ、水処理浄化設備のような化学関連設備の運転データを、効率的な方法で取り込み、一元管理してデータベース化する。プロセスコンピュータのデータは、LANを介して直接収集する。現場の計器指示値などについては、キーボードからの手入力を避けるとともに、データ収録時にデータの検証を行うためにHTを用いている。

また、化学関連の自動分析データ収集については、LANを介した自動収集やフロッピーディスク(FD)を用いた収集により効率化を図っている。また、手分析データなどは、Microsoft[®](注1) Excelを用いて作成した入力帳票を使ってキーボード入力しており、入力項目の確認、入力データと基準値の照合が自動的に実施できる。

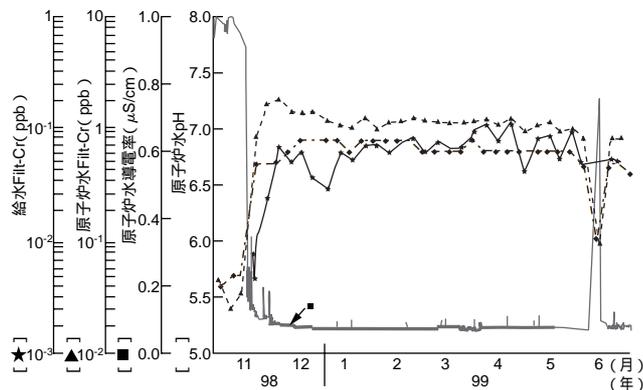
3.1.2 データ処理機能 日報、月報、年報のような定期の帳票や定型、非定型の図を容易に作成する機能を持つ。図の作成は1枚のシートに最大4画面を、また、1画面について採取頻度並びにデータ軸の異なるデータを最大4種類同時に表示することができる。すなわち、最大で16種類のデータを同時に作図できる。

作図画面に柔軟性を持たせることで、データの傾向、相関及び経時変化などの比較評価を容易、かつ迅速に実施できるよう考慮してある。作図の一例を図3に示す。

なお、データベース自体をORACLE[®](注2)などの汎用データベース管理システムを用いて構築しているため、Microsoft[®] Ac-

(注1) Microsoftは、米国Microsoft Corporationの米国及びその他の国における登録商標。

(注2) ORACLEは、Oracle Corporationの登録商標。



Filt-Cr: 溶解性のクロム不純物 ppb: parts per billion(10億分の1)
pH: ペーハー(溶液中の水素イオンの濃度を示す指数)

図3. 汎用解析評価機能処理の出力例 汎用解析評価機能では、採取頻度の異なる種々のデータを対象に作図処理や統計処理が可能である。

Example of data treatment

cessやExcelのような汎用のアプリケーションソフトウェアから直接データベースを利用できるほか、データベースから必要なデータだけを抽出し処理する機能も備えている。

3.1.3 データ管理機能 収集したデータのセキュリティ管理、履歴管理、保守(追加、削除、修正)を行い、データベースの確実な管理と信頼性を維持する。

なお、業務支援機能には、上記三つの機能に加えて、異常や不適合事例をデータベース化して登録する機能や、日常の化学関連業務計画を設定し業務の円滑な遂行を支援するための機能なども備えている。

3.2 エキスパート診断機能

エキスパート診断機能は、化学関連の異常兆候や不適合事象の早期検知を目的にした予兆診断機能と、異常・不適合事象の詳細原因究明や対応処置を提示する詳細診断機能から成り立っている。

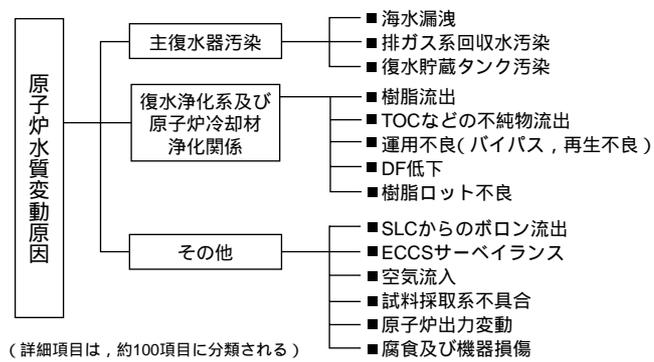
以下に個々の機能について述べる。

3.2.1 予兆診断機能 連続監視が可能な化学データや、プロセス運転データを組み合わせ、異常や変動兆候を早期に検知するために用いる。変動の検知のためには、積算確率、移動平均、並びに相関関係を用いたしきい値による判定を行う。しきい値は、過去のデータを基に自動的に設定したり、任意に設定される。診断には、過去の異常・不適合事象や仮想想定事象の解析結果を基に診断マトリックスを作成し、変動パラメータの組合せによって原因の推定を行う。診断マトリックスの例を図4に示す。

関連する個々のパラメータについては、過去の経験事象や想定事象の解析結果を基に重みづけを行い、診断結果に優先順位が出るように考慮している。

3.2.2 詳細原因診断 詳細原因診断対象項目は、化学関連異常・不適合の実績を参考に、利用目的、要求機能、経

項目	肯定影響度				否定影響度			
	大	中	小	無	大	中	小	無
影響度	0.80	0.70	0.60	0.50	0.20	0.25	0.30	0.00
変動要因	0	0	0	1	0	0	0	0
検出の確率	0	0	0	1	0	0	0	0
*1:検出:1,不検出:0								



(詳細項目は、約100項目に分類される)

TOC : Total Organic Carbon(全有機炭素)
 DF : Decontamination Factor(不純物除去係数)
 SLC : Standby Liquid Control System(硼酸(ほうさん)注入系)
 ECCS : Emergency Core Cooling System(非常時炉心冷却系)

図4. 予兆診断マトリクスの例 診断する事象ごとに、変動する可能性のあるパラメータとその影響(重み)を設定している。
 Example of diagnosis matrix table

図5. 原子炉水質変動原因の分類例 原子炉水質変動原因の詳細診断では、およそ100項目の事象について検討する。
 Root causes of reactor water quality deterioration

験・知識ベースの完備,知識工学の適用性及びプラントへの影響などを考慮して表1に示す項目を選定した。

表1. BWRプラント詳細診断エキスパート化の選定項目
 Detail investigation expert systems for BWRs

No.	詳細診断項目
1	原子炉水質異常の原因究明
2	主復水器の海水漏洩対応
3	原子炉格納容器内の漏洩源評価
4	原子炉水浄化系の性能評価
5	復水浄化系の性能評価
6	OG放射線モニタ指示変動時の原因究明
7	燃料破損時のロケーション推定
8	液体廃棄物処理系設備における性能低下時の原因究明
9	一次系配管線量率の変動予測

OG : Off Gas(排ガス)

主要項目についての概要を以下に示す。

(1) 原子炉水質異常の原因究明 原子炉水質を高純度、かつ安定に維持することは、炉内材料・機器や燃料の健全性維持、一次系の線量率低減及び放射性廃棄物発生低減の観点から重要である。一方、実際に原子炉水質を変動させた要因及び可能性のある想定要因は図5のように分類され、その詳細要因項目は100以上に細分化され、複雑かつ多様である。

原子炉水質変動の原因を迅速かつ正確に推定するためには、多くの化学データ、運転データに加えて経験的知識や技術を多用した評価が必要となる。

この診断では、プロダクションルール^(注3)を用いた推論を実施し、自動収集されるプラント運転データや収集され

(注3)“もし～ならば～をせよ”というIF THEN型の知識単位。

た化学分析データを用いて、原因の自動的な絞り込みを行うとともに、通常専門家が原因推定のために実施するデータ入手、評価手順を踏襲した診断の流れをシステム化している。

(2) 主復水器海水の漏洩(ろうえい)対応 日本のBWR原子力発電プラントは、すべて海岸立地で主復水器冷却水として海水を使用している。そのために、主復水器海水漏洩が発生した場合には、下記を考慮した迅速かつ総合的な判断が要求される。

- (a) 主復水器海水漏洩率
- (b) 復水脱塩塔の運用条件及び対応能力
- (c) 復水脱塩塔化学再生時の廃棄物処理系対応能力
- (d) 原子炉水質の維持・管理要求値
- (e) プラント停止や主復水器の隔離補修条件

上記の条件は必ずしも固定されたパラメータでなく、図6に示すようにプラント運転状況によって変化する。特に、海水漏洩率は一定ではなく変化するため、複数の要求条件を加味し、正確かつ迅速な対応処置を提示する必要があり、エキスパートシステムの導入が効果的と言える。

この診断では、海水漏洩率の変化に対応するため、プロセスデータを用いた診断を自動的に繰り返し行うとともに、種々のシミュレーション機能を用いた水質変動予測による診断を行う。

(3) 原子炉格納容器内の漏洩源評価 原子炉圧力容器の健全性確保のために、原子炉格納容器(PCV)内の漏洩については厳しく制約されている。PCV内での漏洩源としては、原子炉水、主蒸気、給水、補機冷却水などがあり、漏洩が発生した場合にはPCV内の温度、露点、圧力、サンプル(排水槽)排水流量などに変化が生ずる。これらのプロセス計器指示変化に加えて、漏洩源によってPCV内の雰囲気、及びPCV内サンプル排水水質に、それぞれ特徴

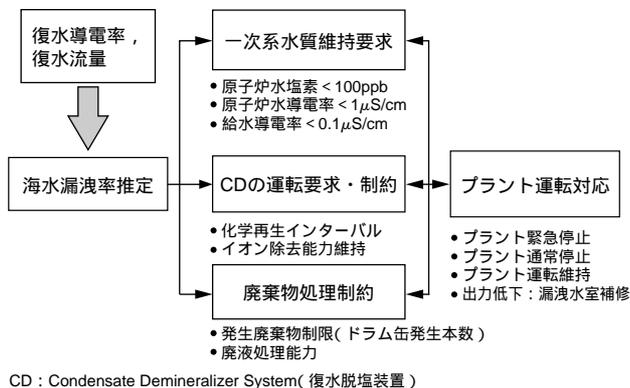


図6. 主復水器海水漏洩時の基本的な対応 海水漏洩時は、一次系水質維持要求、復水脱塩塔運転要求、廃棄物処理系制限などを考慮して対応を決定する。

Countermeasures against main condenser seawater leakage

のある化学・放射化学上の変化が生ずる。この診断では、PCV内での漏洩によって引き起こされるプロセス計器指示変化と、化学・放射化学関連パラメータの変化を組み合わせた評価を行い、迅速で的確な漏洩源推定を可能にしている。

- (4) 原子炉水浄化系の性能評価 原子炉水中のイオン不純物、放射性物質、腐食生成物を除去し、原子炉水質の純度を維持するためには、原子炉水浄化系(RWCU)フィルタ型脱塩装置(F/D)の性能を適切に維持監視することが要求される。

RWCU F/Dには、粉末状のイオン交換樹脂を薄くプリコートして使用しており、その性能変化はイオンブレイクまでの採水日数や不純物除去性能の変化として現われ、プリコートの条件や運転条件によって大きく変化する。

RWCU F/Dの性能に影響を及ぼす要因としては、図7に示すように、原子炉水中のイオン組成とイオン濃度、プ

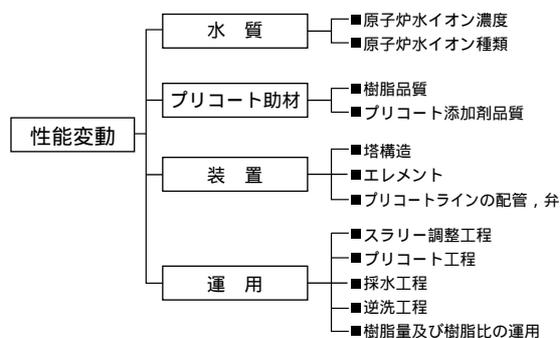


図7. RWCU F/Dの性能変動要因 RWCU F/Dの性能は、原子炉水質、プリコート助材、装置、及び系統運用条件によって影響を受ける。 Classification of root causes for reactor water clean-up system (RWCU) Filter demineralizer (F/D) performance changes

リコート助材の品質、プリコート、採水、逆洗などの一連の運転操作並びに原子炉水浄化系にかかわる装置、配管構成などが考えられる。

この診断では、RWCU F/D性能に影響を及ぼす関連項目に関して、その変化によって予想される浄化系性能の相関関係をデータベース化しておくことで、RWCU F/D性能に変動が生じた場合の迅速な原因究明を可能にしている。

4 あとがき

BWR原子力発電プラント向けに開発された総合化学管理システムのエキスパート診断機能は、BWRプラント化学管理に関する高度な経験的知識や技術を体系化し、有効利用するうえで効果的であり、また、技術継承の手段としても期待されており、今後更に充実を図って行く予定である。また、データ収集、処理及び管理機能などの業務支援機能は広く、一般の水処理プラントにおける化学管理に対しても有効であり、その適用拡大に向け機能の拡張を予定している。

なお、1994年には中部電力(株)浜岡原子力発電所に、化学関連業務支援機能を主体とする化学管理システムを納入、98年には東北電力(株)女川原子力発電所に、化学管理エキスパート機能を備えたシステムを納入した。2000年には北海道電力(株)泊発電所向けに化学関連業務支援用のシステムを製作し、2001年4月からの正式な運用の開始に向けて試運転中である。

文 献

- 前田克治, 他. BWRプラント化学管理へのエキスパートシステムの応用. 火力原子力発電. 40, 8, 1989, p.931 - 938.
- 川村一二三, 他. BWR原子力発電用化学管理エキスパートシステムの開発. 火力原子力発電. 47, 5, 1996, p.495 - 505.



前田 克治 MAEDA Katsuji

電力システム社 原子力事業部 礫子エンジニアリングセンター 原子力機器設計部主幹。原子力プラントの化学管理・研究・開発に従事。 日本原子力学会会員。 Isogo Nuclear Engineering Center



小林 康弘 KOBAYASHI Yasuhiro

電力システム社 原子力事業部 礫子エンジニアリングセンター 原子力電気計装設計部主務。原子力プラントの電気計装制御システムの計画・設計・開発に従事。 Isogo Nuclear Engineering Center



長沢 克己 NAGASAWA Katsumi

東芝エンジニアリング(株)パワーエンジニアリング事業本部 原子力事業部 システム・機器設計部主任。原子力プラント向け化学管理システムの研究・開発に従事。日本原子力学会会員。 Toshiba Engineering Corp.