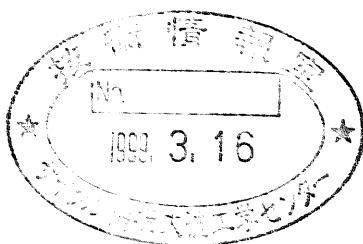


プラントの運転/保守に関する意思決定のための 知識ベースと計測系の要件

(共同研究報告書)



1998年3月

東北大学大学院
量子エネルギー工学研究科
動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部 技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki-gun, Ibaraki-ken 311-1393 Japan.

©動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1998

プラントの運転／保守に関する意思決定のための知識ベースと計測系の要件
(共同研究報告書)

北村 正晴¹⁾ 吉川 信治²⁾ 長谷川 信²⁾

要旨

本研究では、原子力プラントの運転及び保守に関する、信頼性の高い意思決定を計算機に行わせるために、その基となる知識ベース及び計測系の満たすべき要件を検討、整理することを目的として、調査、考察を行った。その中で、運転及び保守に関する一連のタスクの内、特に重要な監視と診断に焦点を絞って、具体的なシステム構成として、分散型兆候データベースとオンデマンド計測系を主とするアプローチを提案し、プロトタイプを作成して有効性を検証した。

1) 東北大学大学院量子エネルギー工学研究科

2) 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター基盤技術開発部先進技術開発室

March, 1998

Technical Requirements on Knowledge Base and Instrumentation System for Decision Making in Plant Operation and Maintenance

Masaharu Kitamura¹⁾, Shinji Yoshikawa²⁾ and Makoto Hasegawa²⁾

Abstract

A series of technical surveys and studies are described in this report to examine and identify technical requirements to be posed on knowledge base and instrumentation system as the fundamental in high reliability computational decision making in operation and maintenance of nuclear power plants. Monitoring and diagnosis are focused as the important tasks among the operation/maintenance-related tasks. A concrete monitoring and diagnosis system configuration has been proposed consisting of distributed symptom database and of on-demand measurement subsystem. An prototype of the proposed system configuration has been successfully verified.

1)Department of Nuclear Engineering, Graduate School of Tohoku University

2)Frontier technology Development Section, Advanced technology Division, Oarai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation

目 次

1 緒言	1
2 監視診断及び保守情報提供のための分散処理型システム	2
2.1 本章の概要	2
2.2 保守作業の改善における問題点	2
2.3 手法の説明	3
2.3.1 保守支援システムへの基本的要件	3
2.3.2 局在プロセッサとデータベースを具備した監視システムの構成	5
2.3.3 ネットワークコンピューティングによる信号処理	6
2.3.4 拡張現実感による情報提供	7
2.4 提案する手法の評価	8
2.4.1 虫型エージェントの監視	8
2.4.2 構造化機能表示(SFD)	9
2.5 結論	11
2.6 参考文献	12
3 早期異常事象の検知、特徴抽出のための兆候データベース	13
3.1 本章の概要	13
3.2 人間-機械協調による異常診断のための兆候データベースの必要性	13
3.3 技術的枠組み	14
3.4 システムの設計と実装	15
3.5 考察	17
3.6 結論	18
3.7 参考文献	19
4 人間-機械系の協調による原子力プラントのライフサイクル健全性監視	20
4.1 本章の概要	20
4.2 システムの枠組み	21
4.3 機能仕様	21
4.4 実装	22
4.4.1 LIM-データベース	22
4.4.2 LIM-HMI	22
4.4.3 Local Agents	23
4.5 結論	23
4.6 参考文献	23
5 提案のまとめと考察	24

図 目 次

図2.1 分散化されたプロセッサとデータベースを備えた初期異常監視システム	5
図2.2 自律型エージェントの一般的構造	6
図2.3 システム例：簡単な水加熱システム	8
図2.4 構造化機能表示（SFD）の例：最上層オーバーヴュー	10
図2.5 構造化機能表示（SFD）の例：動特性表現	11
図3.1 兆候データベースの概念	15
図3.2 データベース構成とソフトウェア開発環境	17

第1章 緒言

本研究では、原子力プラントの運転及び保守に関する、信頼性の高い意思決定を計算機に行わせるために、その基となる知識ベース及び計測系の満たすべき要件について検討、整理することを目的として、一連の調査、考察、さらに一部の技法についてはプロトタイプングまでを行った。調査、考察の結果は以下のように要約される。

- (1) 運転保守に関するタスクは、通常、「異常検出、原因同定、対応（復旧）操作立案と実行、保守保全」のようなシーケンシャルタスクとして想定される。しかしこのような見方は現実を正しく反映してはいない。
- (2) 現実にはこれらのタスクは予見や操作結果のフィードバックも含んだ多重のシナリオが同時並列型で進行する総合的なDynamic Environment Supervision活動として進行している。しかしこの課題を的確に支援できるような強力な技術は、現時点では確立から程遠い状態にある。
- (3) 従って当面は、上記課題の重要性は十分に認識した上で、事象の時間的な進展に余裕がある早期段階の故障(*incipient failure*)への対応にターゲットを限定して、その目的に有効な知識ベースならびに計測系のみたすべき要件について考察すべきである。
- (4) その際には、現存するプラント監視診断系ではなく、将来型の監視診断系を想定して考察を進めることが必要である。この、将来の監視診断+保守情報提供システムにおいて満たさるべき要件として、情報の適時提供、観測の状況適応化、マンマシン系としての適切さなどを提案、想定する。
- (5) この提案システムでは、分散型処理（知識ベースを含む）と能動（またはオンデマンド）計測系が主要な役割を担う。
- (6) そのような知識ベースを構築するため、また保守に関する問題解決を人間機械協調型の枠組みで支援するための技法として、「症候データベース構築」という課題が重要である。この症候データベースは基本的には正常異常を問わず一定周期ごとの時系列データと、異常が疑わしい状況発生時症候の生データとを別々に記憶し、後のオンデマンド探索に資する。
- (7) このような分散型症候データベースは、基本的にはプラントの供用期間全体にわたり運用されて情報や知識を蓄積できる成長型ライフサイクル監視系として設計されねばならない。
- (8) この監視診断+保守情報提供系は将来の。センシング技術、寿命予測技術、知識情報処理技術などの革新を取り込み、目的指向の知識ベースや意思決定システムを構築するための基盤技術として位置づけられるべきものである。しかしこのままの枠組みであってもすでに現場の運転員や保守担当者にとって有用な情報を提供できる支援システムとして機能しうるものであることを強調したい。

これらの検討内容の詳細について、2章では、監視診断及び保守情報提供のための分散処理型システムについて、3章では早期異常事象の検知、特徴抽出のための兆候データベースについて、さらに4章では人間-機械系の協調による原子力プラントのライフサイクル健全性監視について、提案する機能構成を具体化したプロトタイプの開発を交えて説明する。最後に5章でこれらの研究とプロトタイプ開発を通して将来の監視診断支援システムについての提言をまとめる。

第2章 監視診断及び保守情報提供のための分散処理型システム

2.1 本章の概要

この報告書では、急速に発達しつつある情報処理技術、拡張現実感やネットワークコンピューティングを十分に活用した保守支援技術の改良を目的とした検討結果を述べる。保守支援のために提案した方式の中では主要な情報は、ネットワークコンピューティングの枠組みによって並列、分散化された形で供給され、一方保守活動に関するデータと知識はローカルデータベース(LDB)に蓄積される。監視と診断のプロトタイプシステムがローカルエリアネットワークを介して接続された一連のパーソナルコンピュータを利用して開発された。数値実験に関する限りでは、試験されたシステムの性能は満足すべきものであった。システムの機能を構造的に表示するプロトタイプモジュールが別途開発された。この中で提案された表示方式の適用性もシミュレーション実験によって成功裏に実証された。

2.2 保守作業の改善における問題点

原子力発電所の運転に要求される高い信頼性と安全性を実現するためには、保守活動の有為な改善が必要である。特に、予測ベースの保守には様々な理由からより一層の努力を注ぐべきである。第1に、プラントで起こる異常の社会へのインパクトは、その実際の深刻さに関係なくますます大きくなっている。この点で、どのような故障でもそれが顕在化する前に回避することが、潜在的に危険な故障の賢明な管理として有利である。第2に、故障の回避は一般に故障後の修復よりも経済的である。第3に保守の改善は、予備系や安全装置での未検出故障による潜在的な危険を低減し、そのことにより、故障への対処上より困難になる複数故障の発生可能性を排除することができる。これらの予期される利点により、保守支援により進化した技術を用いることは明らかに正当なものと主張できる。保守の実行における技術開発の多くは点検や診断の活動と共に共通の性質を有しているので、従来多かれ少なかれ個別に扱われてきたこれらの活動を統合しようとするいくつかの試み^[2-1, 2-2, 2-3]が既になされている。これらの活動の統合に、そして可能ならばタスクの分担の改良に、より多くの努力が注がるべきである。

LDBに蓄積される情報やデータの中身を以下に列記する。なお、D1～D5はデータ種別を表す。

D1：撮道している機器のプラント変数上の統計的性質

D2：機器の動的性質の記述

D3：保守記録

D4：保守タスク実行のための指示書

D5：設計知識、すなわちダイアグラムや図面

「拡張現実感(augmented reality)」と称する、対象物に人工的に情報を付加する手法によって、このLDBがコンポーネントの保守性や透明性が有為に改善される。重要な情報を、必要な時や要求があった時にはいつでも運転員に伝達するためには、LDBはネットワークを介して中央制御室に接続されていなければならない。更に、一個のLDBの内容はある状況下では、LDB間を行き来する専用のソフトウェアによって、精査されなければならない。専用ソフトウェアの出力はそのLDBに返され、将来の検討のために蓄積される必要がある。LDBの開発とネットワークコンピューティングの方式に関する技術的問題、及び期待される利点について、以下の節で述べる。

2.3 手法の説明

2.3.1 保守支援システムへの基本的要件

原子力プラントが運転されはじめた頃から、センサー、アクチュエータ、動的・静的機器等の故障の初期段階を対象とした検査や診断を支援するツールを開発するための研究開発が積極的に行われてきた。その結果、提案されたツールのいくつかは大規模になり、今でもより多くの機器の種々の故障モードを対象に加えるために増大を続けていた。要素技術の急速な発展、新たなセンシング手法、信号／知識処理方法論もまた新たなツールの開発を促した。これらの個々の手法が有益であること、また原子力プラントでの未対応異常の低減や予防保全の効果を改良するのに寄与することは疑いない。しかし、プラントの安全性を実際に高めるためには、使用するツールの単なる増大は常に有益であるとも効果的であるとも言えないというのが筆者らの確信である。いくつかの問題を注意深く調査して解決する必要がある。

問題1. 情報間の調整

人間工学的な観点から広く認められているように、多すぎる情報は貧弱な情報に決して勝ることはない。詳細な監視のためとして計器やグラフ表示の数を増やすことは運転員の認知的負荷を過剰に増大する。異常が滅多に発生しない

ことが運転員の作業にさらに悪影響を及ぼすというのは数の増えた計器を監視するための新たな労力が通常は酬いられないからである。本報で提案するこの困難の解決法としてこのシステムに組み入れた手法は、我々が以前の研究^[2-3]で議論した、報告モードと沈黙モードを切り替える手法である。沈黙モードの概念は以下に示す2つの機能から成る。

- (1)監視システムは、検出した異常がプラント又はその機器を危険にさらすレベルに近づかない限り沈黙している。
- (2)監視システムによって定期的に評価されるD1、D2に関する信号の性格、又は故障の兆候は適切な時刻情報と共にLDBに転送、蓄積される。兆候の更に詳細な解析、つまりトレンドの評価、相関式の分析等も同様に規則的に実行される。

問題2. 状況に応じた監視の精度と密度

組み込まれた監視モジュールが定型の、また特定の検査タスクの実行に用いられるが、人間の最終意志決定を支援するためのより詳細で正確な情報を獲得するためには、組み込み型の監視モジュールに加えてオンデマンド型のモジュールが望まれる。言い換えれば、より高レベルのオンデマンド解析用のバックアップソフトウェアモジュールを状況に応じて使用する必要がある。必要と成りうる全てのソフトウェアをLDBに蓄えるのは非現実的なので、オンデマンドモジュール群を供給する効果的な方法の導入が不可欠となる。

問題3. 組織された人間親和性のある人間－機械間通信

情報の洪水を避ける必要を認識していても、我々がプラントや機器の監視の密度と精度を向上しようとする限り、運転員に伝えられる情報の種類や量の増加を完全には避けられない。監視システムはほとんど沈黙モードで運用されると想定されるが、ある状況では人間とシステムの通信や情報伝達が発生せざるを得ないのは明らかである。導入されるソフトウェアモジュール（機械知能）と人間の通信における親和性についてさらに考察を加える必要がある。妥当と思われる解決法の一つは、必要な情報を機能的に組織された、かつ効果的に認識できる形で供給して、ディスプレイへの注視が自然で人間の負担の少ないものになるようにすることである。

保守関連情報の提案するprovisionのために提案するシステムは、上に述べた技術的問題を解決するように設計されなければならない。次節に述べるプロトタイプシステムの構成は、少なくとも部分的にはこれらの技術的要求を満たすように設計された。

2.3.2 局在プロセッサとデータベースを具備した監視システムの構成

提案するシステムの構成を図2.1に示す。これは実際には熱流動試験ループに関連する概念の一つの具体例である。個々のローカルプロセッサは一個または複数の機器の健全性監視という役割を割り当てられている。一個のローカルプロセッサにはループ環境の「分野別(fieldwise)」の監視タスクが割り当てられている。監視される「分野」の候補としては、この例題研究では音響、画像と熱、振動がある。専用のセンサーですべての機器や装置を対象にはできないので、ある故障モードに対する検知性能を上げるために分野別の監視装置を採用することが現実的な選択となる。放射線や湿度等の他の「分野」を加えればシステムの性能はさらに改善されるであろう。適切なセンシングデバイスを備えた監視プロセッサはガイドレール上を移動できるか、あるいは必要に応じて運転員が移動できるようになっている。

この設計においては、個々のプロセッサはそれぞれ一個のLDBと表示ユニットを備えている。しかし、この一対一対応のやり方はただ従来のものを踏襲した結果であり設計の本質ではない。次の節で拡張現実と関連においてより合理的な設計概念を述べる。

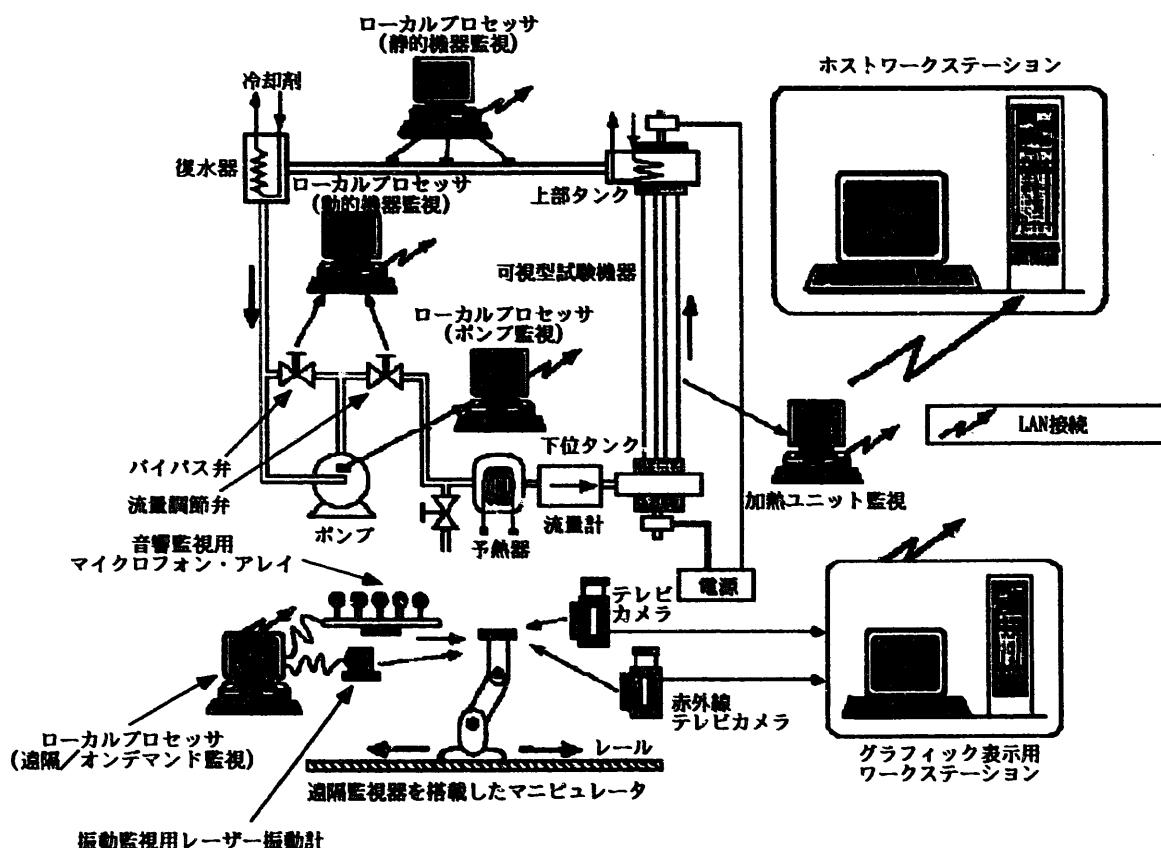


図2.1 分散化されたプロセッサとデータベースを備えた初期異常監視システム

2.3.3 ネットワークコンピューティングによる信号処理

図2.1のLDBとホストワークステーションはLANを介して互いに接続され、柔軟な通信を可能にしている。組み込み型のソフトウェアモジュールは従来型の設計に従って個々のローカルプロセッサに収めることができる。LDBの内容、D1からD3は新たな検査結果を追加することで更新され、これらの性質や記述の時間変化傾向の分析が可能になる。これらのデータの実際の評価は、時間変化の分析と共に、局所的に収められたモジュールによってもネットワーク内を移動する自律エージェントによっても行うことができる^[2-4]。光学ファイバー技術がプラント計装ネットワークのインフラストラクチャーに特に適しているので、多くの機器からの膨大な監視データを集中処理するやり方に比べて移動型エージェントの採用がより一層有利になりつつある。2.1で論じたような組み込み型とオンデマンド型のモジュールを調整して使うことが、移動型エージェント、あるいは虫型エージェントの枠組みでは利点が最も発揮される^[2-5]。もちろん、そのような虫型エージェント群を使用に耐える性能を持つように設計することは容易ではない。移動、タスク間の優先度判断と計画、実行、報告に関する自律的な機能の要求を満たすには、個々の虫型エージェントに使用可能な資源に関する知識と自己を認識するための知識が備わっていかなければならない。前者は使命の遂行のために使用できるモジュール群を意味する。後者は基本要素—あるいは、自分の使命、個々の資源と外部オブジェクトとの相互作用の結果、資源の状態等に関する知識のような知識の部品からなる。

虫型エージェントの知識構造を図2.2に示す。より詳細な記述は別の資料^[2-4]に譲る。ここでは、柔軟な機能性を発揮するための成立性のある確実な選択肢としての、自律型エージェントシステムの重要性を主張することに重点を置く。この自律型虫エージェントの枠組みに全ての関連ソフトウェアモジュールを実装することは明らかに不必要である。しかし、計算機技術に関わる急速な変化を考えると、この枠組みの採用によって我々は将来のソフトウェアの更新を容易に行うことができる。

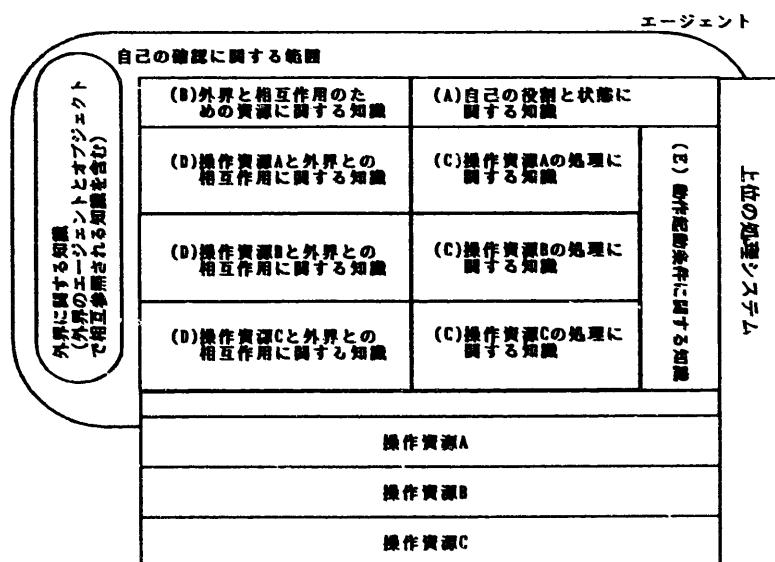


図2.2 自律型エージェントの一般的構造

2.3.4 拡張現実感による情報提供

拡張現実感^[2-6]という概念は、現実世界の対象を計算機で生成された対象とシステムティックに融合あるいは結合する技術を意味する。この概念は全ての対象物が計算機内の世界で作られる人工現実感とは異なることに注意すべきである。現在、人間の現実に対する認識との繋がりが乏しい人工現実感に比べて、拡張現実感はより実際的な手法である。拡張現実感の可能で魅力的な応用の一つは、計算機で生成した情報、つまり保守情報を正に保守すべき対象に重ねて表示して、対象を同定、操作する際の過誤を劇的に減らすことである。このような重ねあわせによるセンサー融合を可能にするには、しかしながら保守すべき対象に手を加える必要がある。

当座は保守すべき対象の変更は行わない。作業場所で主要情報そのものを提供することが実行すべきタスクへの理解を有為に向上させる。適切なデータ表示機能を伴ったLDBは保守員が活動する際に状況をはるかに明確に認識することを助けると期待される。従ってLDBは保守の対象物の操作性を向上するツールとして機能する。拡張現実感による表現は、近い将来現実感の向上に関する多くの改良が成される可能性があるが、この関係で現在用いられる。

我々はセンサ、コントローラ、弁や他の個別の機器の健全性に関する高い認知性を備えた情報提供に注意してきた。健全性情報の提供、或いは考えられる発生初期の故障への注意喚起を文章で行う代わりに、構造化機能表示(structured functionality display:SFD)と称するグラフィカルな形式を選択した。機能表示とは対象となるプロセス或いは機器の機能に関する情報を直接提供するために特定の設計が成された一個の表示形式を指す。この用語はある意味上の曖昧さを以って用いられるが、対象プロセスの機能を浮立たせるというアイデアはランキンサイクルに基づく表示^[2-7]やエコロジカルインターフェースデザイン^[2-8]のようにいくつかの様式となって受け入れられ、具体化されている。ここで提案するSFD形式は単純だが表現力のある表示手法で、対象物の機能の可視化が、監視する対象の準静的というよりむしろ動的な性質により重点を置いた形でなされる。

2.4 提案する手法の評価

本報告書で提案しているところの拡張現実感と、ネットワークコンピューティングの枠組みによる情報提供システムはまだ開発の初期段階にある。現在、技術的成立性と要素技術の有効性の評価を行っており、この後、総合評価へ移行する予定である。これらの個別の評価実験から得られた知見を以下に記す。

2.4.1 虫型エージェントの監視

虫型エージェントシステムの性能が、図2.3に示す単純な水加熱系のシミュレーションモデルに対する分散型監視について評価された。模擬されたセンサ、タンク、弁及びポンプのそれぞれが監視対象とされた。分散化システム構成を表現するために、対象物はローカルトークを介して接続された4台の計算機(Macintosh Quadra 650)に実装された。モジュールの自律的な起動、管理、終了のためのソフトウェアの土台(platform)はAppleScriptで開発された。エージェントの検索と移動の付加的な機能はC++で開発され、一方監視モジュールと表示モジュールはその大部分がLabViewを用いて開発された。

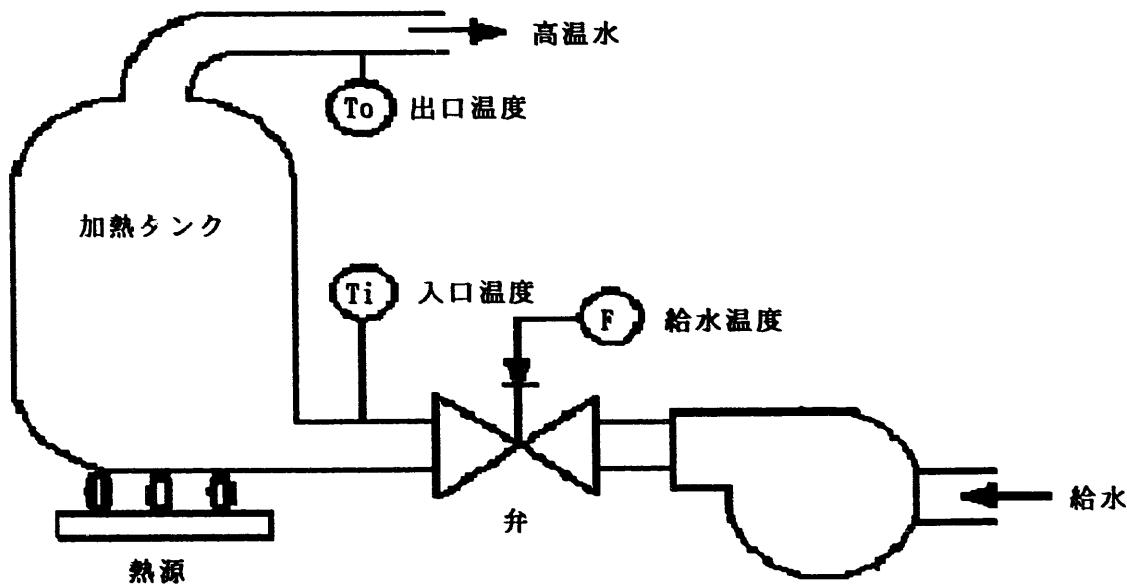


図2.3 システム例：簡単な水加熱システム

温度センサ試験を行うエージェントの動作の表示手法を水タンクの入口及び出口に配置された温度センサを例にとって説明する。それらの反応時間を摂動信号に対するARモデルに基づいたアルゴリズムで評価して表示する。ARモデルで導かれたステップ応答とステップ応答からの反応時間評価の数値表示はローカルCRTに表示される。その結果により入口センサの反応特性の劣化が出口センサとの対照により明確に示される。

もう一つの実験はコントローラの試験と選択に関するものである。この枠組みの背後にある基本的なアイデアの一つは監視、試験及び制御のための複数のエージェントは、更に相互比較、合意形成、及び最良戦略の選択のために実装されているのであり、これによって現行の状況から生じる要求に応えられるというものである。この例では、タンク出口の水温の制御のために給水弁開度を調整するための最良のコントローラを見出すことがタスクであった。ファジィコントローラと従来型のPIコントローラの2つのエージェントの試験によって、前者の優位性が例証された。

2.4.2 構造化機能表示(SFD)

構造化機能表示のプロトタイプが、パソコン上のBWRシミュレータに関して開発された。最上レベルの表示モードの一例を図2.4に示すが、ここでは温度と圧力の冷却材流路に沿った変化がプラントミック図に関連付けられて可視化されている。表示フォーマットはあまり高度なものに見えないかも知れないが、最近のハルデン炉プロジェクトの報告書^[2-9]にはoverview displayと呼ばれるこの種の表示は、これを試した原子炉の運転員にかなり好意的に受け入れられたと報じられている。しかし、このようなoverview displayに対して起こりうる一つの不満として、プロセスの動的な性能の変化に関する詳細な情報が得られにくいというものがある。現在の表示は、機器の動的性能のわずかな劣化を引き起こすような初期段階故障に対する検出や同定の能力に焦点を当てるために当然考えられるoverview displayの拡張版といえる形になっている。図2.5に示すようにコントローラ回路が故障モードに近づくと、給水コントローラ出力の動的性質が、通常は水位或いは流量差の時間変化に強く依存していると考えられるが、影響を受けずにある一定値に近く留まっている。もう一つのコントローラ故障、回路故障ではなく弁固着は、同じ2次元の状態図上のベクトル軌跡表示によって明確に区別できる。このような機器の動的挙動の表示モードは通常は図2.4のようより高位のレベルでは隠されていて、運転員に情報洪水や全体状況の認識低下を起こさないように配慮されている。

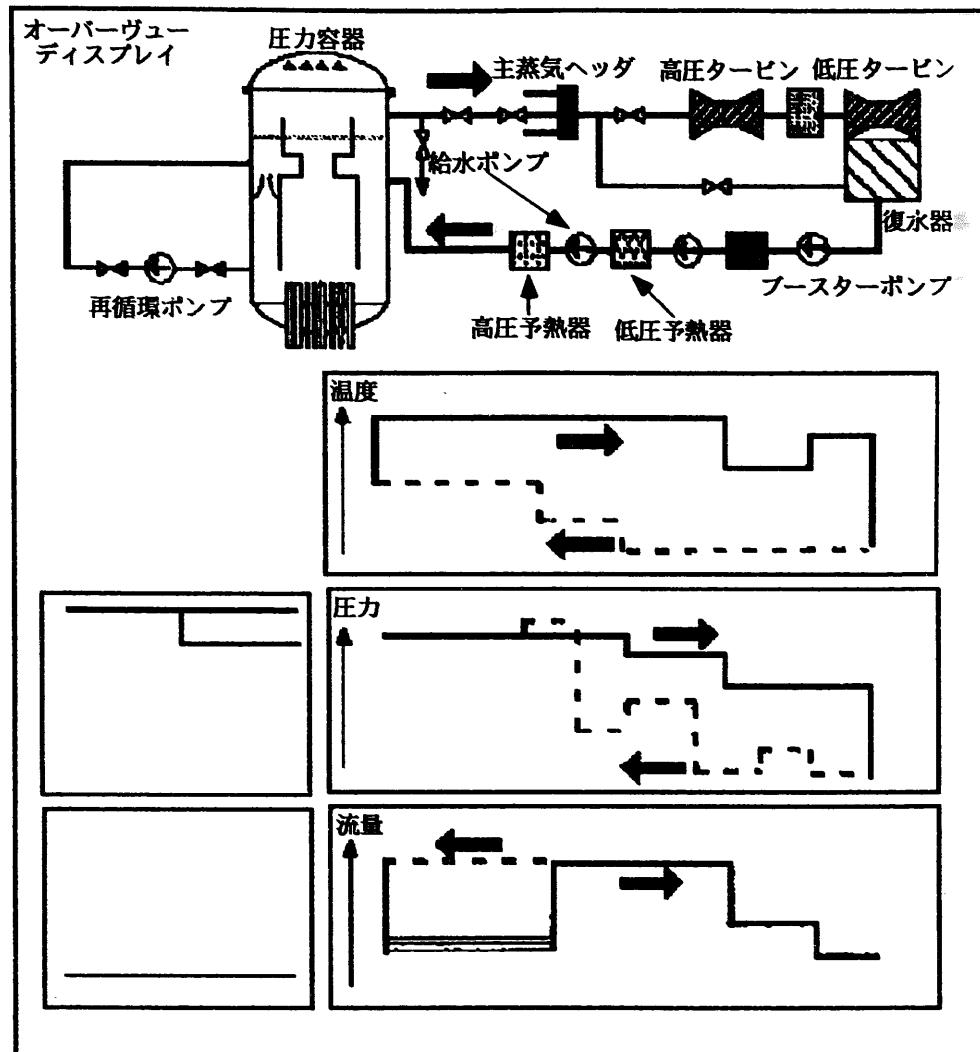


図2.4 構造化機能表示 (SFD) の例：最上層オーバーヴュー

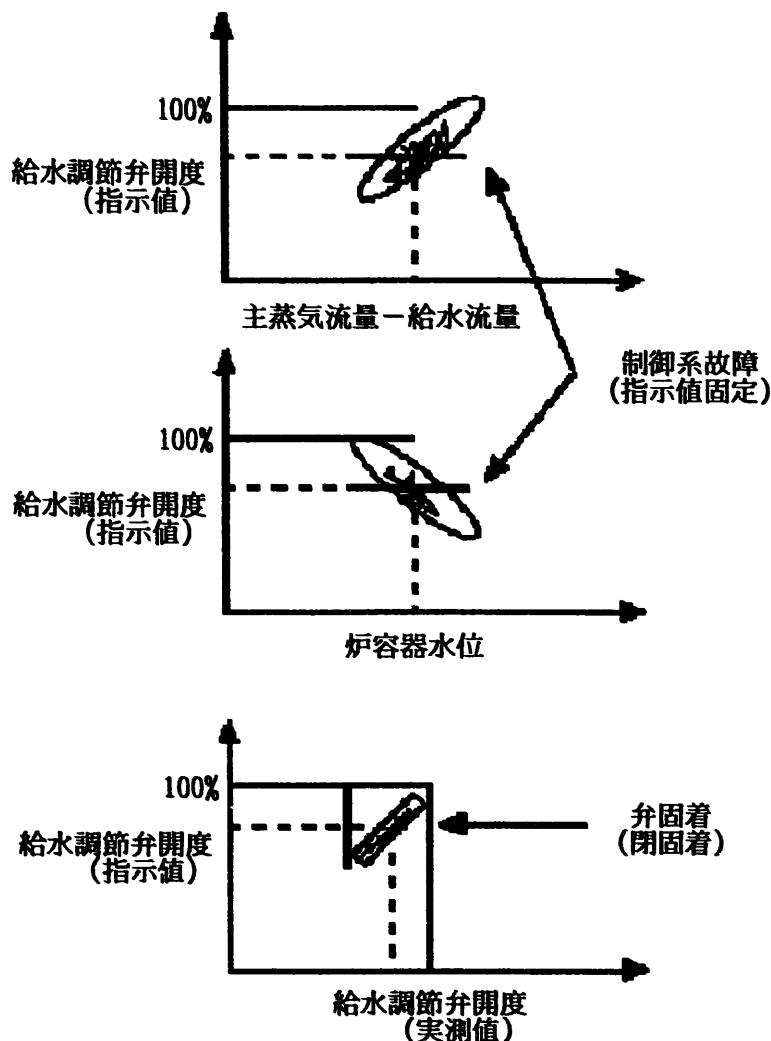


図2.5 構造化機能表示 (SFD) の例：動特性表現

2.5 結論

提案した情報提供方式の成立性がいくつかの数値実験で吟味された。監視と診断のためのプロトタイプがローカルエリアネットワークを介して接続された一群のパーソナルコンピュータを用いて開発された。このプロトタイプは、担当する対象機器の監視や診断の個別のタスクを実行する複数の虫型エージェントによる自律的で非同期モードで動作した。数値実験に関する限り、試験したシステムの動作は要求を満足するものであった。試験データのほとんどは現段階では数値シミュレーションにより得られた。しかし、16チャネル入力、ローカルバッファメモリ及びPCMCIAインターフェースによるアナログからデジタル変換器を備えたオンラインデータ収集装置が最近開発され、このシステムの適用性は拡大する。また、構造化機能表示のプロトタイプも別途開発された。ここに提案された表示方式もまたシミュレーション実験により成功裏に例証された。次の段階として、データ収集、信号処理、情報提供の各機能を統合したシステムを現在開発中である。

2.6 参考文献

- [2-1] N.T.Fordestrommen, K. Haugset, "ISACS-1:Prototype of a futuristic integrated cockpit in a control room", NEA/IAEA International Symposium, Tokyo(1992)
- [2-2] B. Hallbert and P. meyer, "Summary of Lessons Learned at the OECD Halden Reactor project for the Design and Evaluation of Human-Machine Systems", Proc. Topical Meeting on Computer-Based Human Support Systems:Technology, Methods and Future, Philadelphia 407-413(1995)
- [2-3] M. Kitamura, H.Furukawa, R. Kozma, T. Washio, "Guiding Rules for Development of Intelligent Monitoring System of Nuclear power Plants", Proceeding of SMORN-IV; A Symposium on Nuclear Reactor Surveillance and Diagnosis 2, OECD, 493-501(1996)
- [2-4] T. Washio, M. Kitamura, "Worm-Type Agents for Intelligent Operation of Large-Scale Man Machine Systems", Advances in Human Factors/Ergonomics 20A(Selected papers from Proc. HCI' 95;6th International Conference on Human-Computer Interraction), 925-930(1995)
- [2-5] J. Shoch and J. A. Hup, "The Worm Programs-Early Experience with a Distributed Computation, Computer Under Attack", ACM Press, NY, 264-281(1990)
- [2-6] S. Feiner, B. Macintyre and D. Seligman, "Knowledge-based Augmented Reality", Communications of ACM, 36, 52-62(1993)
- [2-7] L. Beltrcchi, "A Model-based Display", Proc.of ANS Topical Meeting on AI and Other Innovative Computer Applications in the Nuclear Industry, Snowbird, 337-344(1987)
- [2-8] K. Vicente and J. Rasmussen, "Ecological Interface Design, Theoretical Foundations", Trans. on System, Man, and Cybernetics, SMC-22,589-606(1992)
- [2-9] J. Paulan, "Dynamic Overview Displays for Process Plants", Proc. CSEPC96, Cognitive Systems Engineering in Process Control, Kyoto, 79-84(1996)

第3章 早期異常事象の検知、特徴抽出のための兆候データベース

3.1 本章の概要

ライフサイクル健全性管理（LIM）システムという概念を、プラント運転員・保守員の診断・保守能力を有為に向上させる将来の効率的手段として導入する。その中の主要な部分、つまり監視、異常の検知と特徴抽出を知的に行うための兆候データベースに課せられた技術的要件を、その設計上の問題と併せて論ずる。このデータベースが要件を満たすための設計原理と構築技術をLIMシステムの将来のありかたと併せて議論する。プロトタイプシステムの開発状況と保守に関連の作業性を向上するための付随技術についても記述する。

3.2 人間－機械協調による異常診断のための兆候データベースの必要性

機器故障の効率的な監視、検知、特徴抽出は原子力プラントのような複雑で大規模な人工物の高度な安全性の成否を決定する問題である。この20年間、これらの機能の達成を目的とした種々の試みがなされてきた。原子力産業にあっては、オンラインの監視、診断ツールのようないくつかの達成された技術が既に実装されている。しかし、著者らの信ずるところでは、これらのツールの設計原理において、またそれらの性能においても、いくつかの理由から更なる向上が望まれる。第一に、保守作業をその上流の作業（監視と診断）と整合させつつ支援するために更なる努力が払われるべきである。伝統的に、故障検知、因果関係の同定及び保守／補修のそれぞれの作業はいくぶん個別に扱われており、順番に実行されるものとみなされることが多い。近年、精力的な実態調査から明らかになりつつあるのは、診断とは他の作業から独立したものでも、分離できるものでもないということである^[3-1]。診断とは確かに、ある目標指向の機器の健全性やプラント安全の確保といった、もっと巨視的な作業の一部である。保守に関連する機能の統合はこの考えのもとに追求すべきである。このような作業の統合は、ある技術分野において「動的環境制御（Dynamic Environment Supervision:DES）」と称される^[3-1]が、著者らはより目的指向の用語として、本論の中では「健全性管理（Integrity Management）」と呼びたい。第2に、先行プラントにおける診断や保守関連のデータの蓄積、検索機能をさらに向上すべきである。原子力だけでなく他種プラントでも、診断や保守に関連する意思決定の過去の経験の重要さを運転員や保守員が認識しているのも拘わらず、現状ではそのようなデータの蓄積と活用は極めて限られている。この状況が計算機の性能上の限界に起因することは論を待たないが、その制約は小さくなりつつあってこのようなデータハンドリングシステムを開発する技術的な試みは今は現実味を帯びている。第3に、人間の熟練者の代替物を目指すのではなく、人間の意思決定を支援するためにこのようなデータベースを活用すべきである。この人間－機械系協調型のタスク

実行というアプローチは、もう一方の、すべての可能性の事前想定が必要になる、機械による人間の代替というアプローチよりも合理的である。この人間-機械系協調型タスクの達成のためには、データベース技術に関する従来の意味に加えて、人間とコンピュータの間で可能な対話のあり方についての考察が必要である。

データベースに基づく健全性管理は、プラント寿命全体を通じて行われるべきものであることを注意すべきである。この理由から、本報告書で提案するデータベースに基づく意思決定支援システムを以後ライフサイクル健全性管理(LIM)システムと称する。上述の要件を満たすため、またLIMシステムの技術基盤を確立するために、数年にわたる研究が行われた。

3.3 技術的枠組み

このデータベースでは、参照される兆候データを、複数の様式、複数の属性、高い加工性を伴った形で蓄積することに重点が置かれる。ここで、複数の様式とは、データベースに多様な内容一時系列記録（生データ）、高次モーメントや振幅確率分布やパワースペクトル分布等の統計指標、時定数や伝達関数等の関連指標等一が含まれるべきことを意味する。データの内容には複数の属性が含まれるべきである、例えば(1)信号値記録と前処理された兆候数値データ、(2)プラントや機器の状態を表した記号データ、操作記録、異常が観測された時にいつでも取り出せる同定済みの異常モード等、(3)P&ID等の図形データ、電気・電子回路図、可視光や赤外線計測による撮影画像等、密接に関係して派生する。このようなデータベースの設計に課された技術的要求を以下に述べる。

第1に、データ検索でのユーザー親和性を考慮する必要がある。プラント運転員にとっては、観察している信号の挙動がいつもどこか違うことに偶然気づくということが一般的な経験である。そのような状況では、類似の信号挙動を示している過去の記録を捜すツールが強く望まれる。この場合の類似性は先述の多様な兆候に沿って評価できる。類似の状況を見出し、吟味することで、異常の原因や回復操作に関する運転員の意思決定は有意に容易になる。

第2に、異常検出の感度の適応が明らかに必要である。この検出感度の適応は異常の検出時のみでなくデータベース検索時においても必要である。検出時における感度は大部分の異常を検出できるだけ十分に高く、重要でない異常にその都度反応しない程度に低くなければならない。この相矛盾する要求は、ある種の適応によってのみ満たすことができる。検索時には、類似性判断の閾値は類似状況として最も適切な候補を選ぶように調整しなければならない。この検索時の感度の調整は別の種類の適応とみなされる。

最後に、上述の2点に劣らず重要な点として、人間-機械間のタスク分担の問題^[3-4]を注意深く考慮する必要がある。現在の設計では、異常検出と類似状況検索タスクのほとんどは基本的に機械系の知能に割り当てられている。言い換れば、知的な監視機械は異常の程度或いは頻度が予め設定された閾値を超えない限り「黙って」いなければならぬ。運転員は異常の検出段階で煩わしい警報で乱されることを望まない。しかし同時

に、取り上げるべき異常の発生を見過ごすことも望んでいない。従って、この監視機械は通常運転時は「休眠」あるいは「沈黙」モード^[3-5]で動作していかなければならない。しかし有意な異常が検出された時には、この監視機械は必ず「対話」モードに切り替わり、異常の発生を運転員に通知し、運転員の要求に応じて兆候データベースの検索結果を提示しなければならない。対話モードでは運転員は、1週間前とか1ヶ月前といった特定の日付の兆候を要求して調べることができる。データベースシステムの設計はこのような考案を指針として進められている。

3.4 システムの設計と実装

このデータベースシステムが有すべき機能の構成を図3.1に示す。プラントの計装からの信号は複数のソフトウェアモジュール、或いはエージェントで処理され、異常の兆候をその初期段階で検出する。異常を検出する頻度は低いので、それらの信号は高い検出感度にも拘わらずほとんどの時間「正常」と判断される。信号が正常と判断されている限り、すべての兆候は消去され、生データだけが正常事象データベースに蓄積される。我々が「正常な」生データも所持することを決めたのは、より詳細な特定目的の分析が後に必要になった場合に使用可能にしておくためである。また、些細な兆候が監視段階で見落とされる可能性も否定できない。些細な兆候が事象発生後の分析者の確信を深めることを主目的とした事後分析の際に実は認識可能であること判明することは、現実に有利得ることなのである。生データを蓄積することは必要メモリー容量の点で厳しいが、生データは二度と参照できないよう廃棄するにはあまりにも価値のあるものである。

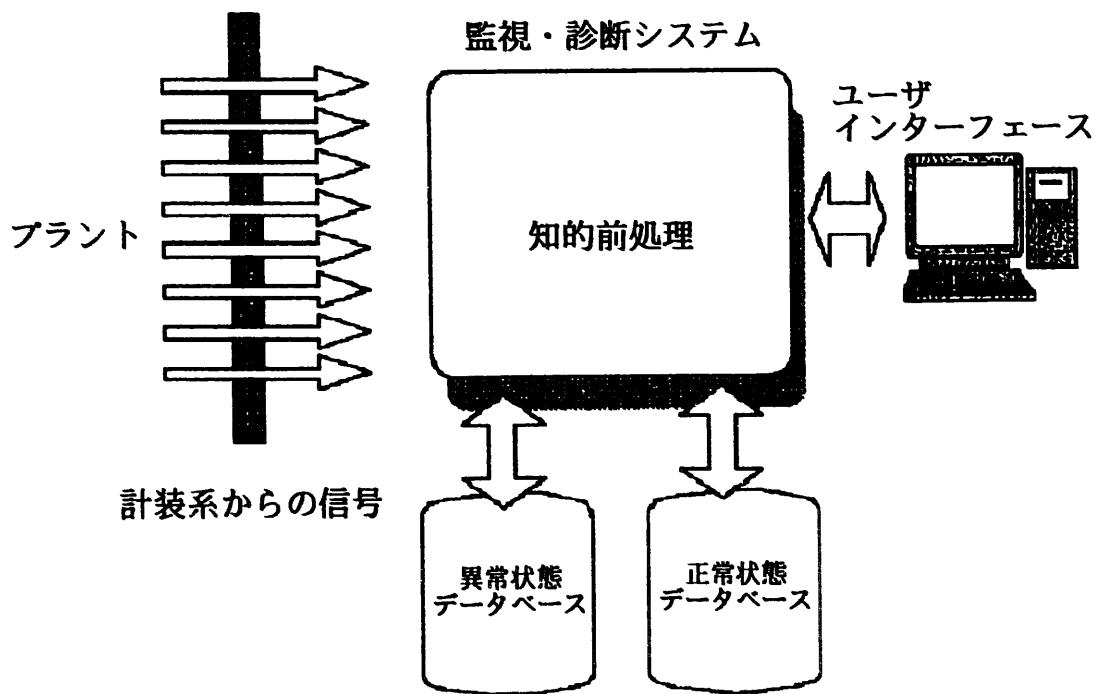


図3.1 兆候データベースの概念

一方、異常が検出された時には生データのみならず兆候も記録される。検出感度は検出確率を最大にするよう設定されているので、検出された「異常」兆候が実は機器やプラントに何ら有意な不具合を示していないことから否定されることもある。このことは、可能な限りの異常初期の兆候を蓄えてそれらの挙動傾向を調べられるようにするということがこのシステムの果たすべき機能の一つなので、受容できる。我々の信ずるところでは、このような些細な兆候の傾向分析は、警戒の対象外の突然異常発生による混乱を避けるための効率的な手段である。このような傾向分析は、運転員を警報で煩わせないために、「沈黙モード」でも行われる。データベースシステムによる情報提供は、通常、初期異常の発生と進展が沈黙エージェントによって明らかに認識された後に行われる。この段階では、異常の深刻さはまだ低いレベルにあって計測値の想定値からの変位は警報発生の閾値より十分小さいと考えられる。その後、運転員はその異常の原因や関連対処法をよりよく理解し知識を得るために、類似兆候を見出すためのオンデマンドデータベース検索を要求することができる。

もう一つの設計上の特徴は遠隔アクセス性を持った分散構造である。この構造が採用されたのは、大規模データベースを集中させる構造に対して、開発、維持、補修が容易であるからである。さらに、データベースからの情報提供は中央制御室、保守計画室、及び監視対象の部品や機械の傍等、多様な場所で実行されなければならない。従って、遠隔データアクセスに関して高い柔軟性を維持するために注意深い設計が必要である。

このような要求や仕様をすべてを満たすデータベースの開発は決して容易ではない。そこでいくつかの段階に分けて開発を行うことにした。現在の段階では、データベースシステムのプロトタイプを開発し、パーソナルコンピュータ (Windows95/NTとBorland Object Windows Library)へ実装している。データベースの構成とソフトウェア開発環境は図3.2に総括している。時系列データは3段階のサンプリング周波数；高速(100Hz)、中速(10Hz)、低速(1Hz)で分けられている。この3つのデータグループはそれぞれ決められた期間、データベース内に記憶される。ここで、サンプリング周期は一時的に決められたことに注意されたい。これらの仕様は、システム構成もそうだが、この初版プロトタイプの詳細評価後に変更されうる。

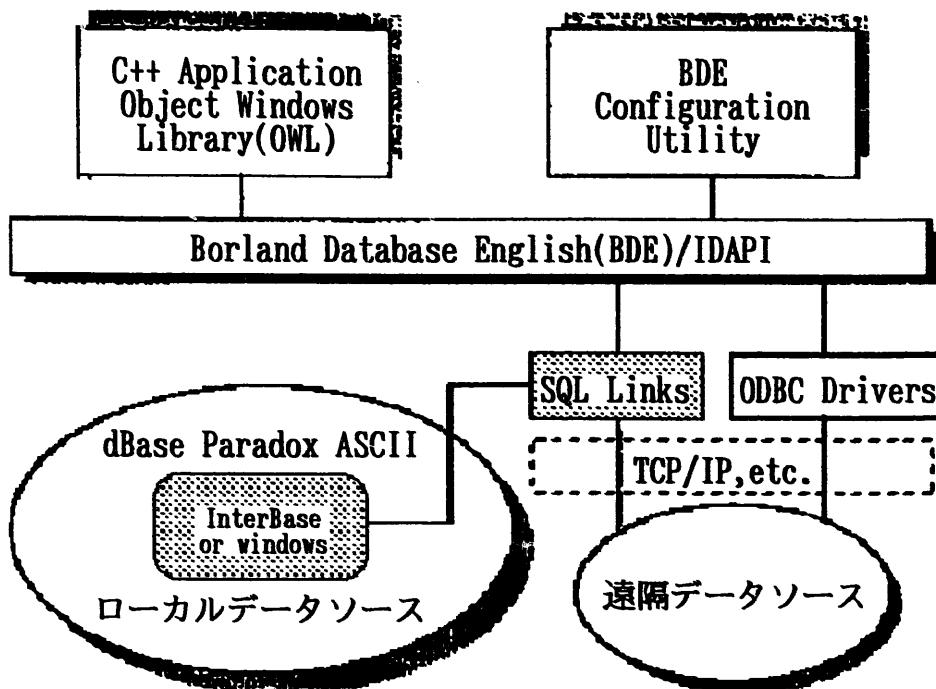


図3.2 データベース構成とソフトウェア開発環境

3.5 考察

このデータベースシステムが目的の機能を発揮するためには、上述の要求の内、類似性によるデータベース検索が最大の鍵となる。データ構造が予め固定されていたのでは、類似性の定義と検索ルーチンの設計は簡単であっただろう。兆候を特徴付ける尺度を定義して、兆候を尺度に沿ったベクトルに変換して、そのベクトル同士の多次元空間内の距離で類似性を評価するというのが自然な方法である。しかし、現在のシステムでは、兆候を特徴付けるためのデータの構造は兆候間で、また計測値間で異なることがあるので、ベクトル空間を用いる方法は簡単に応用できない。兆候が多様な方法で定義されるので、特徴ベクトルは複数の階層からなる構造をとることになる。最上位では、ベクトルは兆候の様式に応じた項を持ちうる。例としては、生データ、モーメント、自己相関関数、スペクトル分布等がある。「スペクトル分布」の項はより低位のベクトル[3-周波数帯1のピーク、周波数帯2のピーク]に分解することができる。第k周波数帯のピークという項は、さらに[3-第k周波数帯のピークの数、第k周波数帯のピーク周波数k1、ピーク高pk1、第k周波数帯のピーク周波数k2、ピーク高pk2]のように分解できる。項の数、或いはベクトルの次元の数は、それぞれ違うので、類似性判定基準の定義は極端に複雑になる。さらに、階層の色々なレベルで類似性を定義する必要がある。この要求によって類似性に基づく検索はさらに難しいものになる。現在は、特徴ベクトルにおける階層構造と尺度において多様性を許容できるよう、ベクトル空間の基準の一般化を試みているところである。

もう一つの相反する問題に、生データの蓄積に関する設計問題がある。生の時系列デー

タを記憶することはメモリサイズの点から厳しいが、このデータベースが将来進歩してウェーブレットやフラクタル分析のような新たな信号処理手法を導入することを考えると潜在的な意義は大きい。我々の考えでは、技術進歩を運用中に導入できるというこの特徴は、供用期間の長い人工物のための長期間監視システムにとってもう一つの重要な点である。信号の計測、分析及び評価の手法を現在の適用可能な技術範囲に限定することは、データベースシステムや関連のツールが監視対象のプラントの全寿命に渡ってその健全性を監視し続けることを考えれば、現実的ではない。プラント監視システムには、新たな手法の出現に応じて変更を加えられる柔軟性が必要である。この、長期間に渡る（技術開発状況との）整合性は、複雑な人工物に対する保守の方針や運転安全性に遺憾無く發揮されると考えられる。

3.6 結論

ライフサイクル健全性管理システムの概念、これに課せられる技術的要件、設計上の問題、及びシステム開発の現状を記した。開発の終了した初版のプロトタイプに対する実験的評価は、人間にとて馴染みやすい、複数モード切り替え型のインターフェースをこのデータベースシステムに実装してから行う予定である。統合評価に先立って、サブシステムや要素機能が逐次評価された。この段階で既に、分散構造や遠隔アクセス機能を有するこのデータベースシステムの概念は、原子力プラントの熟練運転員の強い支持を受けている。他のサブシステム、つまり保守記録データベース、自律型の能動的な移動機能を備えたセンシングシステム等は、関連研究開発として行う予定である。

3.7 参考文献

- [3-1] J. M. Hoc, R. Amalberti and N. Boreham, "Human Operator Expertise in Diagnosis, Decision-making, and Time Management", in J. M. Hoc, P. C. Cacciabue, E. Hollnagel(ed.), EXPERTISE and TECHNOLOGY, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers, Hillsdale, NJ., 19-42(1995)
- [3-2] Proceedings of International Symposium on Artificial Intelligence, Robotics and Intellectual Human Activity Support for Nuclear Applications, AIR&IHAS'97, The Institute of Physical and Chemical research(RIKEN), Wako-shi, JAPAN(1997)
- [3-3] M. Takahashi, C. Diantono and M. Kitamura, "Life Cycle Integrity Monitoring of Nuclear Plant with Human Machine Cooperation", paper to be presented in 7th IFAC/IFIP/IFORS/IEA SYMPOSIUM on ANALYSIS, DESIGN AND EVALUATION OF MAN-MACHINE SYSTEMS, Kyoto, September 16-18, 1998
- [3-4] T. B. Sheridan, Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, MIT Press(1992)
- [3-5] M. Kitamura, H. Furukawa, R. Kozma, T. Washio, "Guiding Rules for Development of Intelligent monitoring System on Nuclear power Plants", Proceeding of SMORN VII;A Symposium on Nuclear reactor Surveillance and Diagnosis 2, OECD, 493-501(1996)

第4章 人間－機械系の協調による原子力プラントのライフサイクル健全性監視

4.1 本章の概要

原子力プラントのような複雑大規模な人工物の運転の安全性は設計、運転及び保守を注意深く行うことで確保される。この設計、運転及び保守の中では前2者に比べて保守活動は近年に至るまで研究の対象となることが少なかった。しかし、保守活動での過誤の影響は設計や運転における過誤に決して劣るものではない。この保守への学術的注意の欠如の一因は、設計に依存した安全性という概念への暗黙の信用にある。この概念は理想的な目標としては認められるが現実には成立しないというのはいかなる設計者にも、起こりうるすべての機械的、人的な故障を想定してその対策を設計に盛り込むことは不可能だからである。

このことを念頭において、我が国では保守活動の革新への扉を開こうとする研究プロジェクトがいくつか開始された。その主なものには、科学技術庁が監督する長期劣化予測と分散型保守ロボット^[4-2]を含む自律型プラントプロジェクト^[4-1]、また通産省が監督する知的保守ロボットプロジェクト^[4-3]がある。この2つのプロジェクト共、保守活動を先進的なデータ管理技術とロボットにより改良しようとするものである。本論文もこれらと関連する、ライフサイクルプラント健全性監視と称する研究プロジェクトを紹介するものである。このプロジェクトは東北大学において文部省の支援の下、ライフサイクル情報管理(lifecycle information management(LIM))、分散人工知能(distributed artificial intelligence(DAI))及び人間－機械インターフェース(human-machine interface(HMI))に重点を置いて進められている。

ライフサイクル情報管理が必要なのは、原子力プラントが長期間(30、40年以上)運転され、主要機器のほとんどは反復的な保守の影響下にあるからである。事故報告の精力的な分析を通じて、機器の保守や補修手順の些細な過誤でも、その過誤の発生の後長年にわたってシステムの安全性に深刻な影響を与えることが明らかになっている。扱うべき本質的な情報には、定期検査と試験、計画外(異常発生による)検査と試験、補修等の記録がある。LIMシステムの有用性は、保守関連情報獲得、処理、蓄積、検索及び提供のための分散型ローカルプロセッサのようなDAI技術の使用で高められる。機能の分散配置によって、異常発生記録、試験補修手順、助言的伝達事項等の重要情報への現場からのアクセス性が高められる。保守関連情報管理のこのような利点から、HMIに関するより注意深い考察の必要が生まれる。なぜなら情報の量と多様性は情報が系統的で首尾一貫した形で提供された場合にのみ有益だからである。このプロジェクトでの技術開発はこれらの要件を念頭において進められている。以後、設計概念と主要技術のいくつかを述べる。

4.2 システムの枠組み

ライフサイクル情報管理システムは、プラント内の分散型ローカルLIMユニットによって特徴付けられ、一方中央LIMユニットは統合監視と上位の意思決定のために実装されている。中央LIMユニットは、またローカルデータベースの記憶容量が近年の記憶メディアの急速な容量拡大にもかかわらず十分に大きくできないので、長期のデータバックアップの役割も担っている。分散LIMユニットのそれぞれは、専用プロセッサとローカルデータベース(LDB)、HMIを備え、予め割り振られた機器の健全性管理をするようになっている。LDB群は兆候、作業記録、保守手順ガイド及び関連図面を格納するのに用いられる。これらの知識とデータは現場の保守要員からの要求に応じて提供される。更に保守要員は、走行型ロボットのアームに装着された専用移動型センサ群となったローカル支援エージェント群に命令を出して、より良い意思決定のための補助的計測を行わせることができる。このローカル支援エージェントはDAIのもうひとつの実例である。

4.3 機能仕様

このLIMシステムでは、想定される使命を達成するためにいくつかの機能上の仕様を満たす必要があった。第一に、過去のデータに対して関心の対象となるデータの指定や類似性に基づく検索によってアクセスできる必要から、想定動作時間が著しく延長される。プラント運転員に共通する経験として、毎日見ているのと違う挙動をする信号をたまたま発見することがある。このような場合、過去において信号が同様の挙動をした状況に関する記録を探すツールを持つことが望ましい。この類似性は様々な兆候、つまり、統計的指標（規模の確率分布、自己或いは相関スペクトル分布等）、機能的指標（反応時間伝達関数等）に沿って定義できる。類似兆候を見出したり、それらに関連した運転保守記録を吟味したりすることで、運転員は異常の原因同定や回復操作の決定をはるかに容易に行える。

第2に、検出感度が調整可能になる。オンラインの異常検出やデータベース検索では調整が必要なことに注意すべきである。検出感度には異常の大部分を把握するだけの高さと、有為でない異常にいちいち反応しないだけの低さが必要である。この相反する要求は一種の適応によってのみ可能である。データベース検索では、類似性を判断する閾値は類似状況の適切な候補を選ぶために調整できる必要がある。この検索での感度調整も別種の適応とみなすことができる。

第3に、人間と機械の対話モードは慎重に設計する必要がある。現在のLIMシステムでは、異常検出と類似事例検索のタスクはまずローカルプロセッサと支援エージェントに割り当てられる。言い換れば、LIMシステムは異常の厳しさが予め設定された重要度の閾値を超えるまでは沈黙していなければならない。運転員は検出段階では煩わしい警報に邪魔されることを望まない。しかし同時に、彼らは有害かもしれないいかなる異常も見逃したくはない。したがって、監視機械は資料4で述べたように通常動作では「潜伏」

と「沈黙」のモードを切り替えながら機能する必要がある。しかし、有為な異常が検出されたら必ずモニターは「対話」モードに切り替わり、異常の発生を運転員に警告し、兆候検索の結果を要求に応じて提供する必要がある。

4.4 実装

LIMシステムの開発は一般的に知られている枠組みを通じてモジュラー的な方法で行われた。この節では、既に開発を終えた主要サブシステムの技術的特徴を述べる。

4.4.1 LIM-データベース

兆候データベースシステムがLIMデータベースで中心的な役割を果たす。version-1データベースシステムが開発されてWindows95/NT, BorlandOWL(Object Windows Library)及びDBE(Database Engine)によりパーソナルコンピュータ上に実装された。時系列データは実際にはサンプリング間隔によって、100Hzの「速い」、10Hzの「中間」、1Hzの「遅い」の3つのグループに分類された。この3つのデータグループはそれぞれ指定された期間データベースに記憶される。統計的、機能的な指標もそれぞれの期間について計算、記憶される。

データのサンプリングと蓄積はイベント駆動方式で行われることも強調されるべきである。LIMシステムが通常の信号挙動からのいかなる変位を検出した時でも、データのサンプリング、処理、蓄積が行われる。変位とは従来監視している変数の平均値について定義してきた。しかし、これはまた、統計的、機能的な指標に関するいかなる些細な変化としても定義できる。

生の時系列データの蓄積は記憶容量の点から容易ではないが、将来の新たな信号処理手法に対応する可能性を留保できる利点がある。この革新的な性質こそ、我々は長期間使用される人工物に対する長期間監視システムのもうひとつの重要な点であると信じる。

4.4.2 LIM-HMI

LIMシステムの人間-機械インターフェイス[HMI]には、ローカルLIMデータベースに貯えられた情報とデータを系統的に組織立てて表示する機能が要求される。その表示すべき内容には、時系列データ、系統的機能的な指標等がある。前に述べたように、HMIでは類似性と時刻で指定できる過去データへのアクセス性が重要視される。現場の要員は、如何なる期間についてでも、また類似性の項目を指定しても、調査を要求することができる。

HMIで考慮されるもうひとつの重要な点は、プラント全体にわたる意味においてローカルな情報が組み込まれていることである。言い換れば、特定の機器のプラントにおける位置づけや潜在的な影響が現場の要員から見えるように設計されている、ということである。現在の設計では、この意味的な表現は「構造化機能表示(structured functional display)」^[4-5]という形で具現化され、機能情報がプラント overview display上に投射されて提供されている。

4.4.3 Local Agents

ローカルエージェントには実際は2種類あり、ソフトウェアエージェントと移動装置に装着された専用モニターに分けることができる。ソフトウェアエージェントは基本的にソフトウェアモジュールと同様なものである。しかし前者はローカルプロセッサ・ネットワークの中を移動して信号処理や故障モードの同定のような割り当てられたタスクを実行するので、長期にわたる反復的な監視により適したエージェントである。我々は虫型エージェント^[4-6]として、この移動型ソフトウェアエージェントを既に開発、試験している。現在のプロジェクトでは、新たにもう一つの型の方の、移動装置上の専用モニターとしてのエージェントの実現を試みている。現在、知的ロボットアーム(三菱MOVEMASTER-EX)が移動装置として用いられている。距離と振動を計測できるレーザー変位センサー(KEYENCE LK-2000)がロボットアーム上に装着され多機能移動式センサーを作っている。このセンサーは小規模の振動に対する遠隔・移動式計測ができるので、発生初期の故障の検出、評価を補完する有力な道具として使用できる。テレビカメラならこのレーザーセンサに代わって、補助的な移動型センシング機能を提供できるだろう。

4.5 結論

システム全体の開発が終了してほぼ2年後、LIMシステム全体の総合的評価の計画が立てられた。これに先立って、個々のサブシステムについての個別評価が行われた。ローカルLIMシステムは、仮の兆候データベースと(テストのための限定的な)人間親和性と複数モード切り替え機能を用いて評価された。しかしこの段階においても、このデータベース概念の正当性は、経験を積んだプラント運転員に強く支持された。他のサブシステム－保守記録データベース、ロボットアーム上の音響モニター等－は現在設計、実装を行っているところである。

4.6 参考文献

- [4-1] M. Kitamura;Keynote Speech, proc. AIE'94, Specialists Meeting on Application of AI and Robotics to Nuclear Plants, Tokai, JAPAN, pp.3-8(1994)
- [4-2] H. Asama;Task oriented Evaluation System for maintenance Robots, ibid, pp.11-20(1994)
- [4-3] H. Okano et al.;Development of Intellectual maintenance System, 1996 Annual meeting of Atomic Energy Soc. Japan, paper#D23(1996)—in Japanese—
- [4-4] M. Kitamura, H. Furukawa, R. Kozma, T. Washio, "Guiding Rules for Development of Intelligent monitoring System on Nuclear power Plants", Proceeding of SMORN VII;A Symposium on Nuclear reactor Surveillance and Diagnosis 2, OECD, 493-501(1996)
- [4-5] M. Takahashi, et al.,;Multimodal Display for Enhanced Situation Awareness Based on Cognitive Diversity, Advances in Human Factors/Ergonomics 21B, pp.707-710(1997)
- [4-6] T. Washio, M. Kitamura;Worm-Type Agents for Intelligent Operation of Large-Scale Man-Machine Systems,Advances in Human Factors/Ergonomics 20A, pp.925-930(1997)

第5章 提案のまとめと考察

原子力プラントで異常が発生した時のタスクとして、異常検知、原因同定、対応操作立案と実行、補修作業が挙げられるが、異常発生後の早期に、対応操作立案までの時間的余裕のある段階で、事象を詳細、正確に把握することが他の全てのタスクを的確、迅速に実行する上で有効である。従って本研究では、異常の検知と診断を、通常時の監視時から支援するために必要な知識ベースと計測系について要件を整理し、その実現のためのアプローチに関する提案を行った。

本研究では、原子力プラントの監視及び診断を人間と機械の協調により行うためのシステムを構築する技術的枠組みとして、新しい概念に基づく移動マニピュレータに搭載した移動型随時・能動監視計装、機器の知的エージェント化による分散型データ管理機構、さらに統合化監視技術からなるアプローチを提案した。

本研究の成果は、実験用水ループをテストベンチとして、その構成要素機器、センサー配管などに各種の模擬異常を組み込み、これまで開発してきた信号処理手法をベースとする予兆監視専用計装系を実装し、これらを上述の枠組みで統合したシステムによりその妥当性が検証されている。

この研究の進展に伴い、(1)運転と保守の統合の必要をより強く認識するに至ったこと、(2)知識ベースは機器構造や設計データ、目的機能なども格納されるべきではあるがまずは症候候補だけを対象として、検討を進めることができ現実的であること、(3)計測系としては常設系だけを考えることは将来的には制約が大きすぎる所以移動型随時・能動監視計装を積極的に採用すべきであること等の考え方方が形成されている。