

原子力発電設備の総合予防保全システム“HIATOMS”

Hitachi Advanced Operating Nuclear Power Plant Total Preventive Maintenance Management and Service System

最近の国内原子力発電所の稼働率は70%を超える実績を上げてきているが、これをさらに向上させ高い信頼性を維持していくためには、より緻(ち)密で計画性のある予防保全プログラムを立案し実施してゆかねばならない。しかし、原子力発電所の約6万件を超える膨大な機器を効率よく、高い精度で保全計画を立てていくためには機械化による高度化が不可欠である。このため日立製作所では「総合予防保全システム」を開発し、一部運用に入っている。

このシステムは機器の寿命診断機能を持つほか、機器の仕様、点検履歴、国内外の信頼性情報などをデータベース化し、これらの情報を基に電力会社に対し点検推奨、設備改善提案などの項目を取りまとめ提供するものである。

荒木昌三* Masamitsu Araki

治部 襄* Noboru Jibu

阿部和宏* Kazuhiro Abe

1 緒 言

原子力発電プラントは計画、設計および製作・据付けの各段階で高い信頼性が作り込まれているが、運転年数の経過に伴う経年変化が発生するための確な保全、補修により、その信頼性を維持していくことが重要な課題である。

日立製作所では、プラントを供給し、かつ電力会社に協力して保守作業を実施している会社として、プラントの計画、建設段階での保全性設計から運転・保守段階での予防保全作業に至るまで一貫した総合予防保全活動を実施し、稼働率および信頼性の向上のために努めている。今後、さらにいっそうこれらの向上を図っていくためには、より充実した精度の高い予防保全計画への参画と、着実な保全活動に対する協力を推進する考えである。

日立製作所は、これら業務の質的向上を図る目的で、コンピュータ支援によるHIATOMS(Hitachi Advanced Operating Nuclear Power Plant Total Preventive Maintenance Management and Service System:総合予防保全システム)の開発を進めており、一部はすでに運用に入っている¹⁾。

本稿は、上記を構成する代表的なシステムの機能と運用について述べる。

2 日立製作所での予防保全活動

日立製作所は、電力会社のニーズを踏まえて図1に示すような原子力発電所の計画・建設段階での保全性設計から運転・保守段階での予防保全作業に至るまで、一貫した総合サービスを実施してきている。建設段階では三次元CADシミュレー

ションを駆使した保守性向上設計を行うとともに、設備面では交換装置、点検装置など保守用装置、およびプラント・機器長寿命化技術の開発に取り組んでいる。運転・保守段階では予防保全サービス体制を強化し、プラントの信頼性をよりいっそう高めるため、各電力会社に対する積極的な設備改善提案活動を推進するとともに、施工の事前計画の早期着手を目標に定期検査工事の充実を図ってきている。これらの結果は、新設プラントの保全性設計にフィードバックし反映している。

しかし、原子力発電所を構成する機器は約6万件を超える膨大な数があり、これを所定の周期で点検していくためには緻(ち)密な計画が要求されるので、それらの作業を効率よく、かつ内容の質的向上を図らなければならない。このため、これらの業務をコンピュータで一元的に管理、支援することにし、図2に示すように従来個々に開発してきた予防保全関連システムと、今回新たに開発したシステムをそれぞれ有機的に結び付け体系化し、一貫した総合予防保全システムとして構築した。

なお、これらのシステムの一部はすでに運用されている。

3 予防保全システムの考え方

3.1 システム設計基本方針

プラントの高信頼性を維持するための予防保全計画、管理業務を精度よく、かつ効率よく実施するためのコンピュータ化にあたり、次の方針によって開発を進めた。

* 日立製作所 日立工場

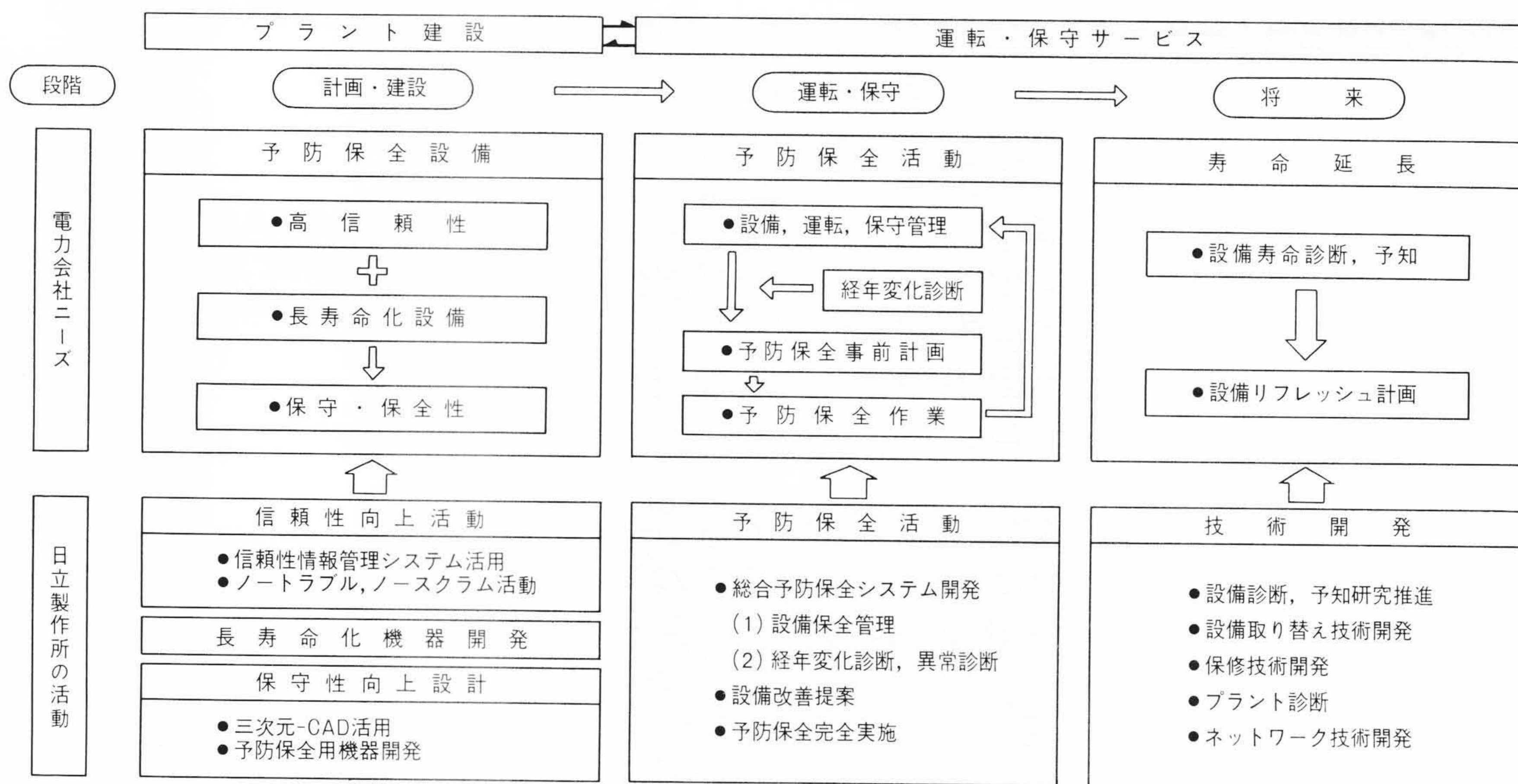
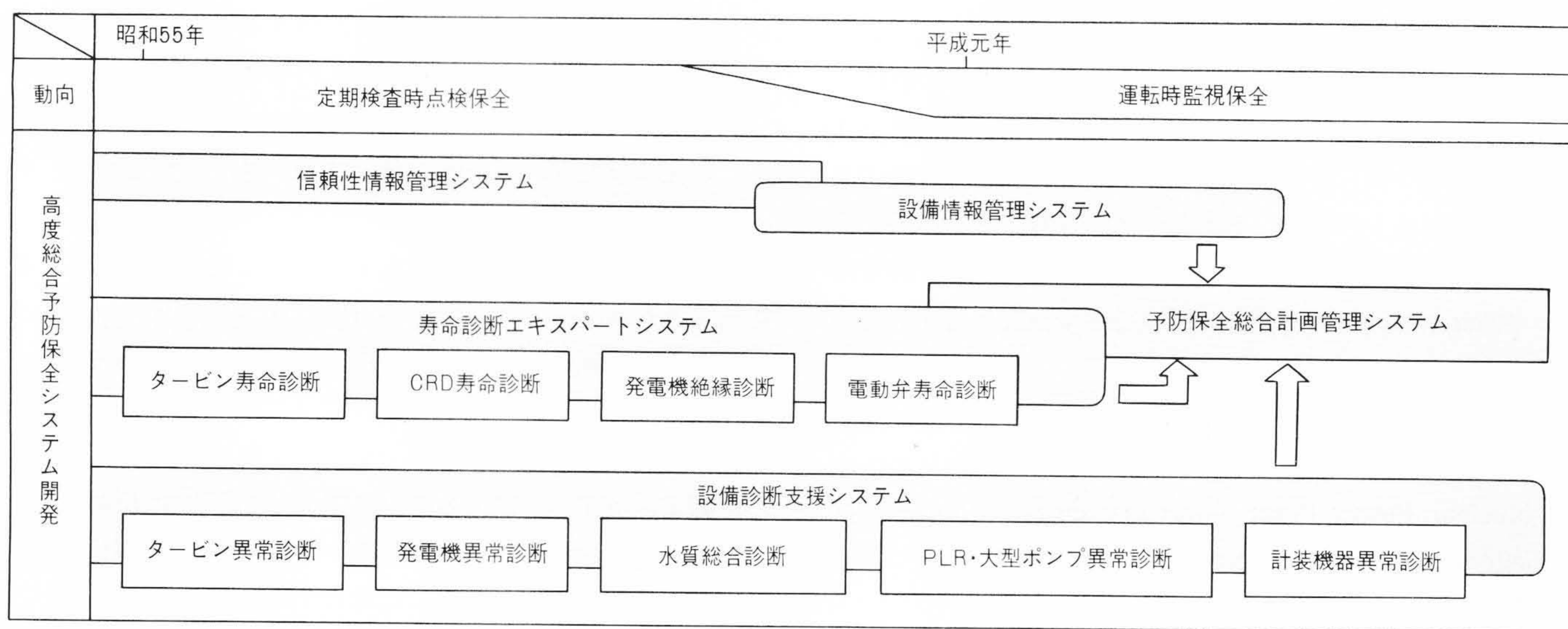


図1 日立製作所でのプラント予防保全活動 日立製作所は電力会社のニーズを踏まえて、プラントの建設段階から一貫した予防保全サービス活動を実施してきている。



注：略語説明 CRD (Control Rod Drive System)
PLR (Primary Loop Recirculation System)

図2 予防保全システム高度化体系 従来、日立製作所は予防保全の高度化に取り組んできており、個々のシステムを総合的に体系化した。

- (1) プラントを構成する全機器の情報(主に機器仕様, 関係図書番号, 点検保守履歴, 懸案事項, 他プラント信頼性情報など)を一元的に収集, 管理して, 予防保全計画者に対しオンラインでそれらを提供することが可能であること。
- (2) 主要機器の経年変化状況を定量的に予測し, 精度のよい保全計画の支援ができること。

- (3) 信頼性の高い保守計画および管理業務の支援が効率よくできること。

3.2 システム構成

総合予防保全システムの概念図を図3に, 全体構成を図4に示す。このシステムは, 「設備情報管理システム」のうちのサブシステムである「設備仕様情報管理システム」からプラ

ント設備・機器部品仕様情報を、「点検保守履歴管理情報システム」から機器の点検履歴情報を、「信頼性情報管理システム」から自プラント・国内外の他プラントでの信頼性情報を、および「寿命診断エキスパートシステム」から寿命診断結果よりその機器の点検時期または部品などの交換すべき時期情報を得る。「予防保全総合計画・管理システム」では、それらの情報を集約して設計者に提供し保全計画業務の支援を行う。この結果が電力会社に対し改善提案書、点検推奨として提供される。また、これによる保全実施結果は点検履歴情報として「点検保守履歴管理システム」にフィードバックされる。

「寿命診断エキスパートシステム」は、「点検保守履歴管理システム」から点検実績を、「設備診断支援システム」からその機器の運転情報を入手し、寿命診断のための判断情報として内部のデータベースにそれらを収納する。また、「設備診断支援システム」は現在計画中であるが、運転状態監視、健全性監視、異常診断などのシステムで構成され、機器の状態監視をしながら運転支援を行うシステムである。

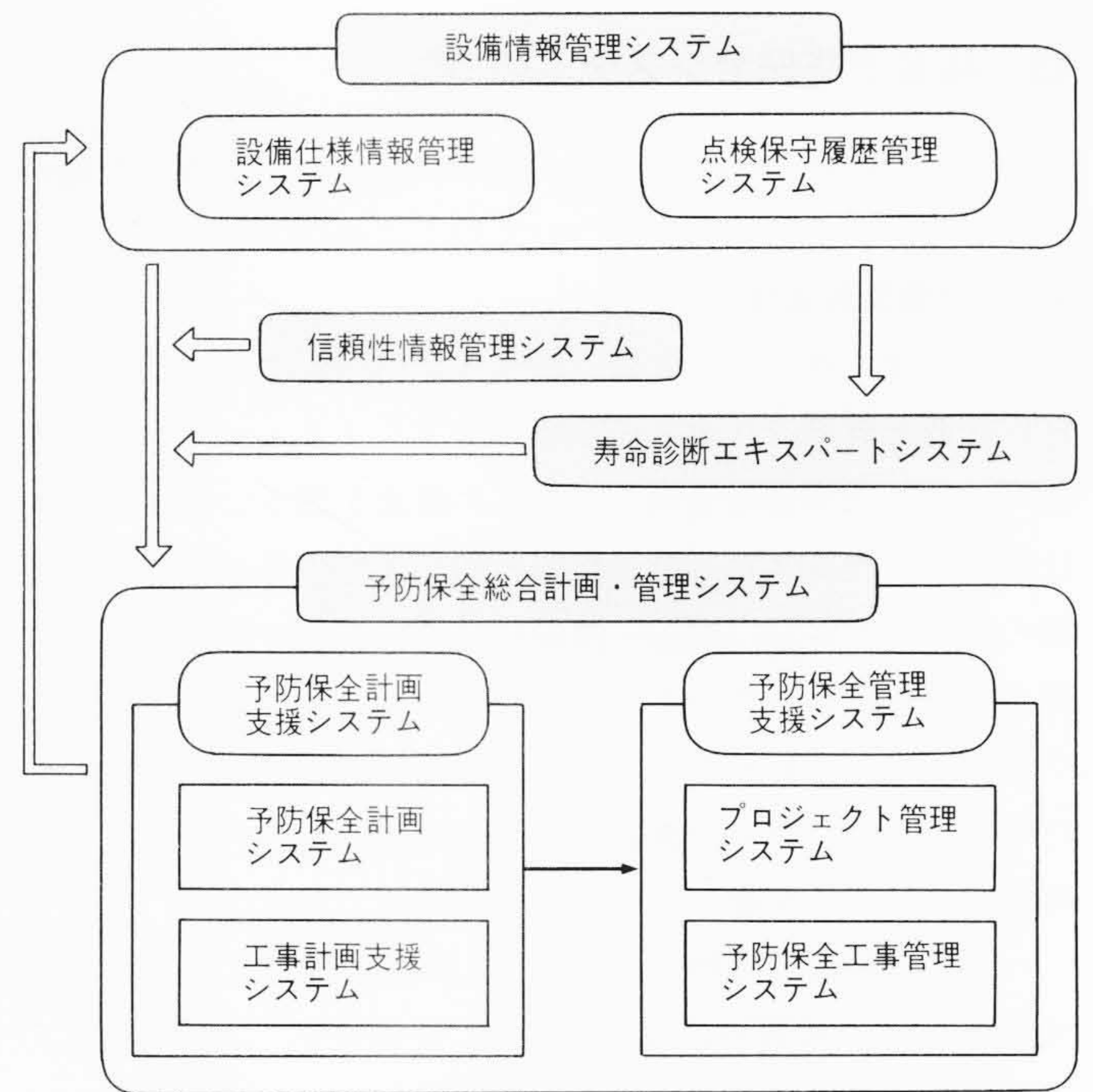


図3 総合予防保全システム概念図 予防保全総合計画・管理システムは、設備情報管理システムなどから保全計画情報を入手し、その実施結果を履歴管理にフィードバックする。

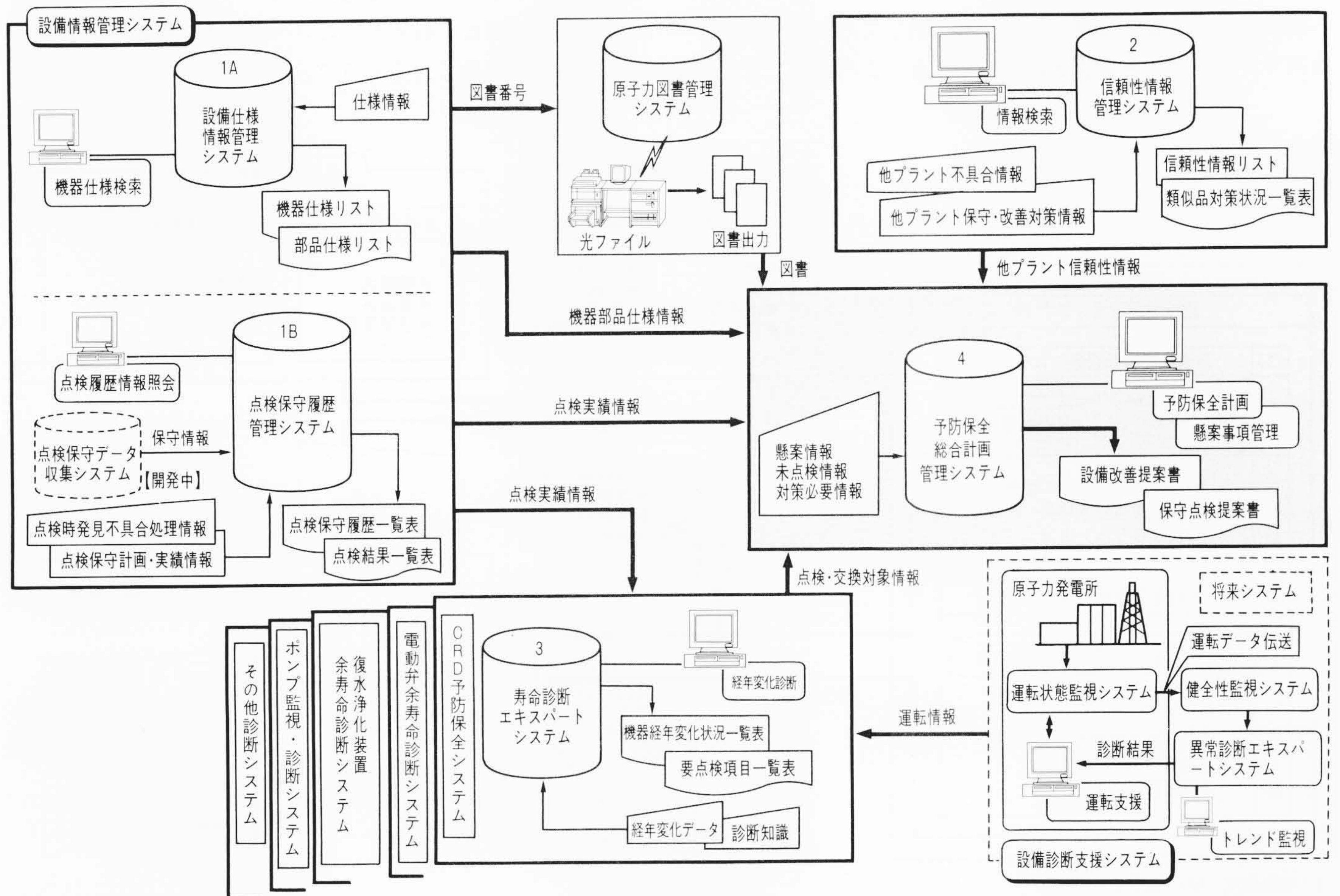


図4 総合予防保全システム全体構成 予防保全総合計画・管理システムは、各システムから保全に関する情報を入手して、電力会社に対する設備改善提案および保全推奨案を取りまとめる。

4 総合予防保全システムの概要

3.1節で述べたシステム設計基本方針に従い、開発した総合予防保全システムの概要について以下に述べる。

4.1 設備情報管理システム

設備情報管理システムは、設備仕様情報管理システムと点検保守履歴管理システムの2個のサブシステムによって構成している。設備情報管理システムの構成を図5に示す。設備仕様情報管理システムは、機器・部品仕様の登録・変更、機器の条件付き検索、機器・部品仕様一覧表などの各種仕様情報出力機能を持っている。特に機器の条件付き検索では、1プラント当たり約6万台と言われる機器の中から、指定された条件(仕様)に合った機器を高速検索するための情報絞り込み機能にくふうを凝らしているのが特徴である。

一方、点検保守履歴管理システムは機器(必要なものによっては部品)の点検履歴の検索、照会、登録変更、各種履歴リスト出力などの機能を持つ。具体的には図6の画面出力例に示すように、機器(または部品)、点検項目ごとに年度別または定期検査次数別の点検予定とその結果情報を提供する。また、点検結果は簡単に表示することにし、その詳細を知りたいときは次画面の点検記録一覧表から当該記録を光ファイルシステムで呼び出し閲覧できるようになっている。あわせて機器の運転に関する履歴情報についても収納しておき、必要時には速やかに提供できるようになっている。この両サブシステ

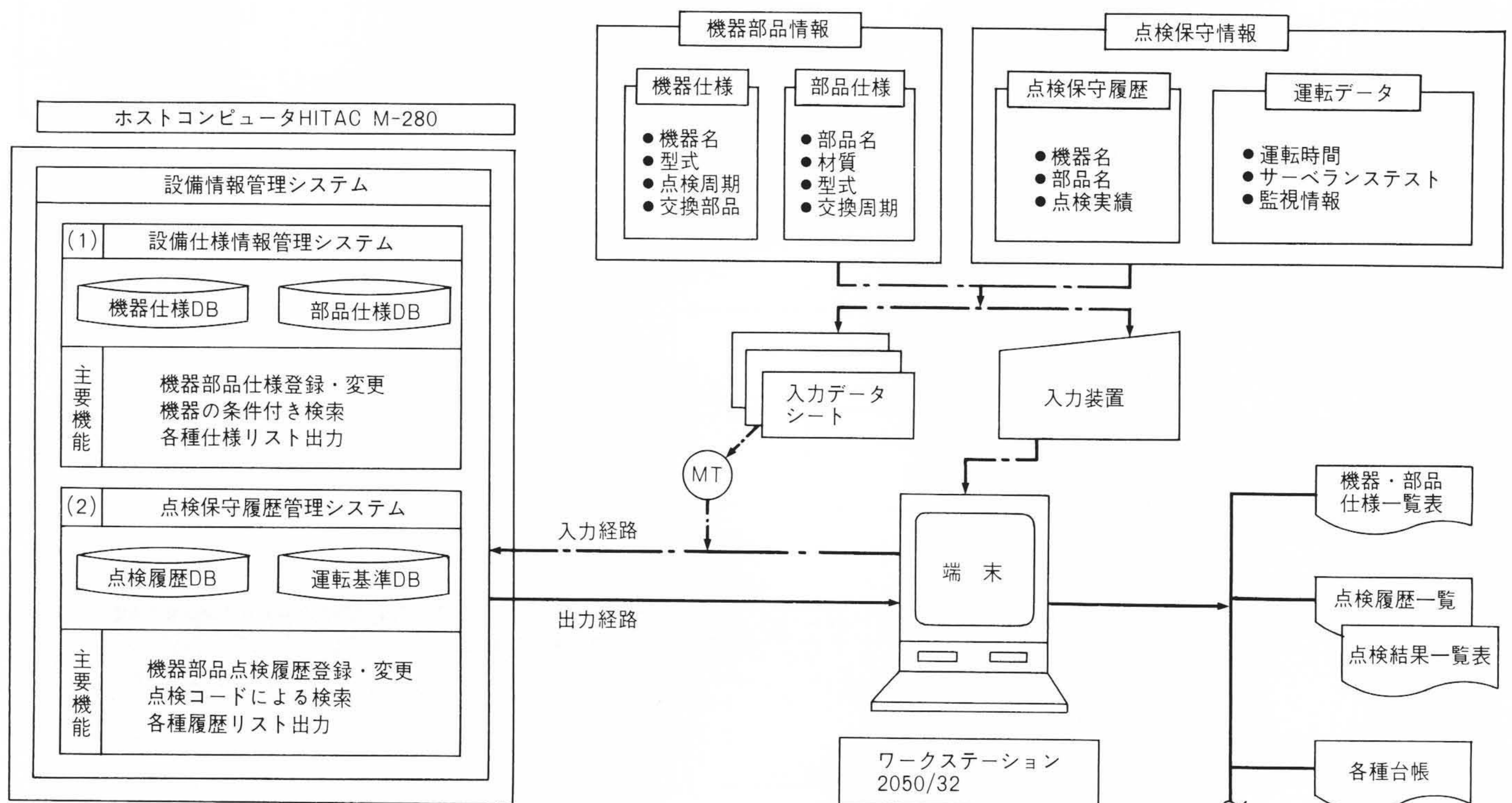
ムは、ともにシステム内に入力しきれない図面、計表などや詳細情報を別システムとしてすでに運用されている「原子力図書管理システム」側の光ファイルシステム内に収納している。

詳細情報が必要な時はシステム相互のリンケージにより迅速に個々の図面、関係文書および点検記録を出力してオリジナル情報源までさかのぼって読めるなど、情報レベルを深めることが可能なよう考慮してある。設備情報管理システムの情報は、日立製作所が開発したデータベースマネジメントシステム(XDM)で構築しており、日立製作所製ホストコンピュータHITAC M-280の中に格納され、原子力発電所でのすべての機器を管理することが可能である。これらの情報はオンライン化されている日立製作所製ワークステーション2050/32に表示され、適宜、帳票として出力することができるようにした。この結果、原子力発電所の膨大な機器仕様や点検履歴情報の迅速かつ正確な提供を可能にした。図7に示すのは、あるプラントで検索した弁の仕様の画面表示例である。

また、このワークステーションは、後述する機器の余寿命診断エキスパートシステムでも利用される。

4.2 信頼性情報管理システム

国内外の原子力発電所や公的機関から報告される信頼性情報は、プラントの建設から運転に入った後の保守を通じて類似事象の再発防止の観点からたいへん貴重な情報である。これらの情報は、原子力発電所の設計や建設段階では信頼性の



注：略語説明 MT (磁気テープ)

図5 設備情報システム構成図 機器部品情報、点検保守情報をホスト計算機に収納しておき、必要により、各種の仕様や点検履歴情報をオンラインで提供する。

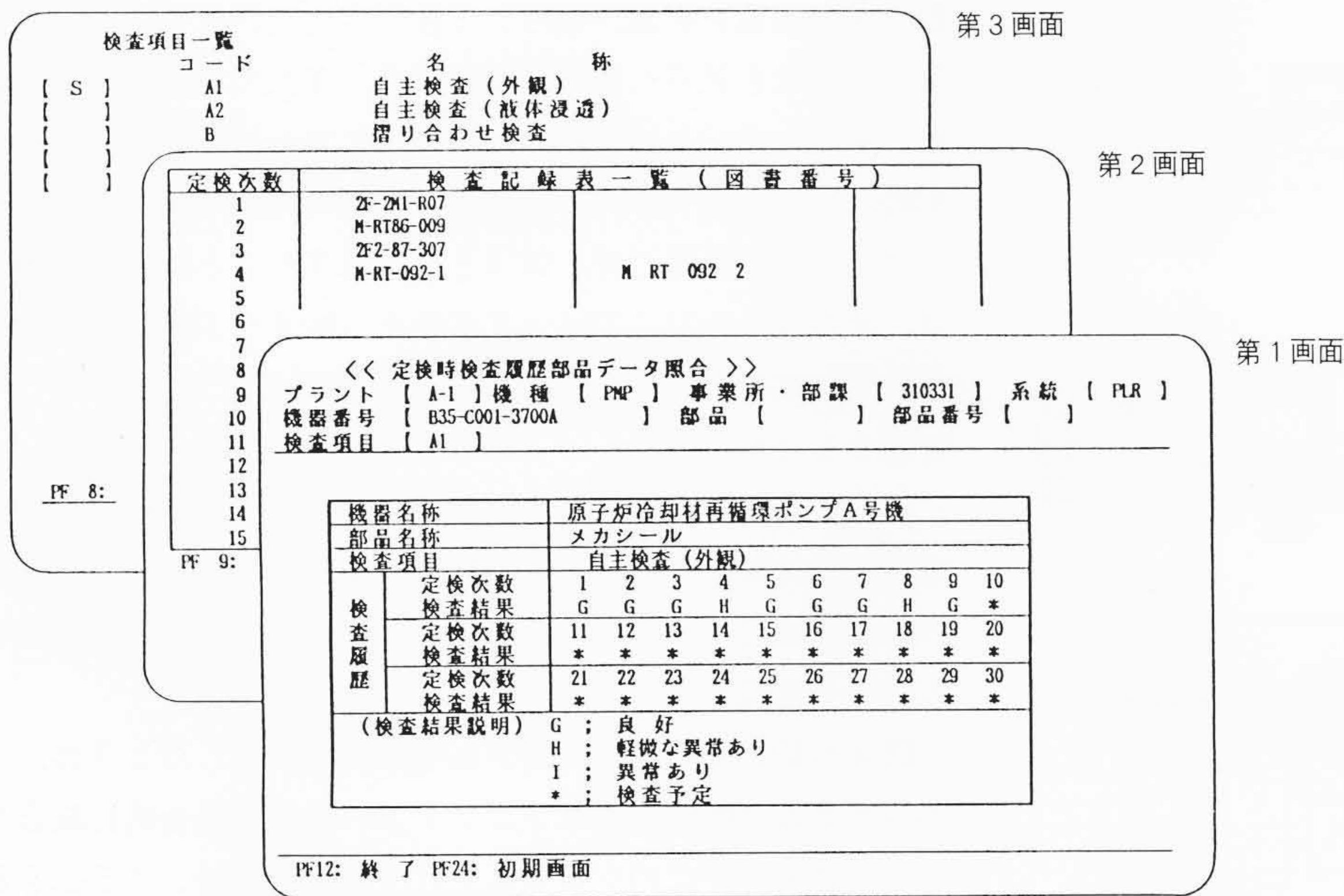


図6 点検履歴出力画面例 第1画面は機器または部品の定期検査回数ごとの点検予定と結果を、第2画面は定期検査ごとの検査記録一覧を、また第3画面はその機器に対して実施される検査項目を示す。

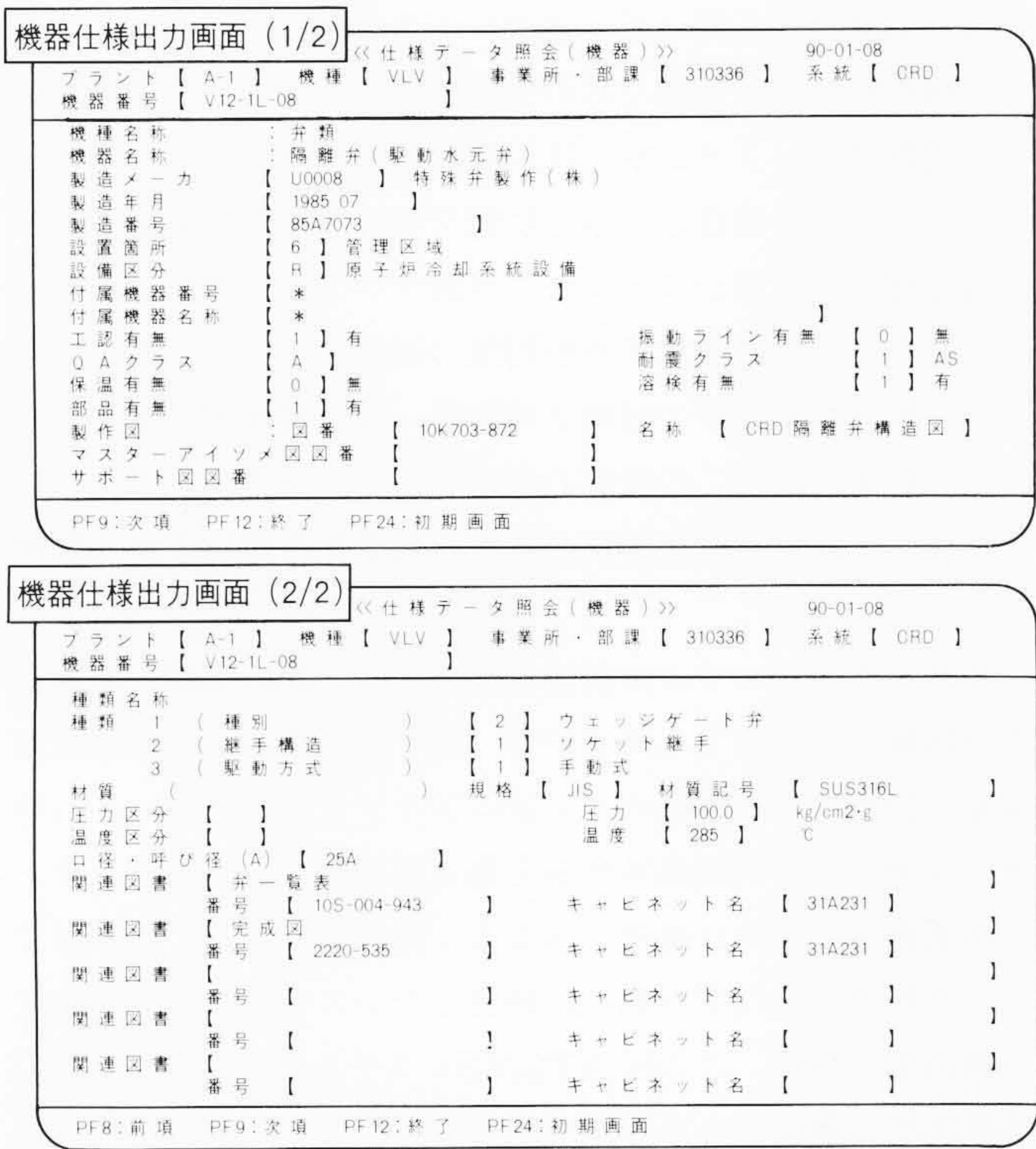


図7 設備仕様情報システム画面表示例 弁の仕様のオンライン端末画面表示例を示す。弁の構造図は、関連図書番号から光ファイルシステム側で呼び出すことができる。

作り込みに生かすよう、デザインレビューでの基礎資料、新プラントの設計反映事項として用いられる。さらに、運転に入ってから保守段階では、他プラントで発生した事象に対して適切な類似品対策を実施し、同種の再発防止などに有効利用される。日立製作所では、原子力発電所でのこれら情報の検索、管理をシステムティックに行うことができるHINURS

(Hitachi Nuclear Plant Reliability Information Retrieval System: 原子力プラント信頼性情報管理システム)を開発し、昭和55年ごろから運用してきている。上記のように、このシステムは予防保全計画には不可欠であり、今回の予防保全システム開発にあたりこの体系の中に組み込まれたものである。

このシステムの概要を図8に示す。このシステムでの情報源は国外関係は技術提携先情報、米国原子力規制委員会情報など、国内関係は電力会社情報、一般公開情報など、また社内はQA (Quality Assurance) 情報、保守点検記録などの情報である。これらの信頼性情報は、システム管理運用部門で1件ごとに検索分類コードを付け、さらに社内の検討責任部署を設定して日立製作所製ホストコンピュータHITAC S-810内のデータベースに一元化して収納している。出力は検索や管理上の目的に応じてプラント別、原因別の事象分類、類似品対策状況など種々の様式が準備されている。また、このシステムはオンライン化されており各設計、検査部門に対し端末によって収集された情報を提供している。その主要な出力例を表1(a), (b)に示す。(a)は信頼性情報一覧表で、(b)は件名ごとのプラント別類似品対策状況を管理するための一覧表である。なお、これらの情報は類似機器を持つ各プラントごとに検討して設備改善提案の具体的な形で電力会社へ提供している。

4.3 総合予防保全計画・管理システム

プラントの予防保全活動でのメーカー側の責任の一つは、電力会社への確に設備の改善提案および点検実施時期の推奨をしていくことである。これには設備の経年変化状況を早期に診断して、定期検査時期または電力会社の保全に関する長期計画策定期間にタイミングよく実施していかなければならない。

この推奨案を取りまとめるにあたり保全計画者は膨大な機

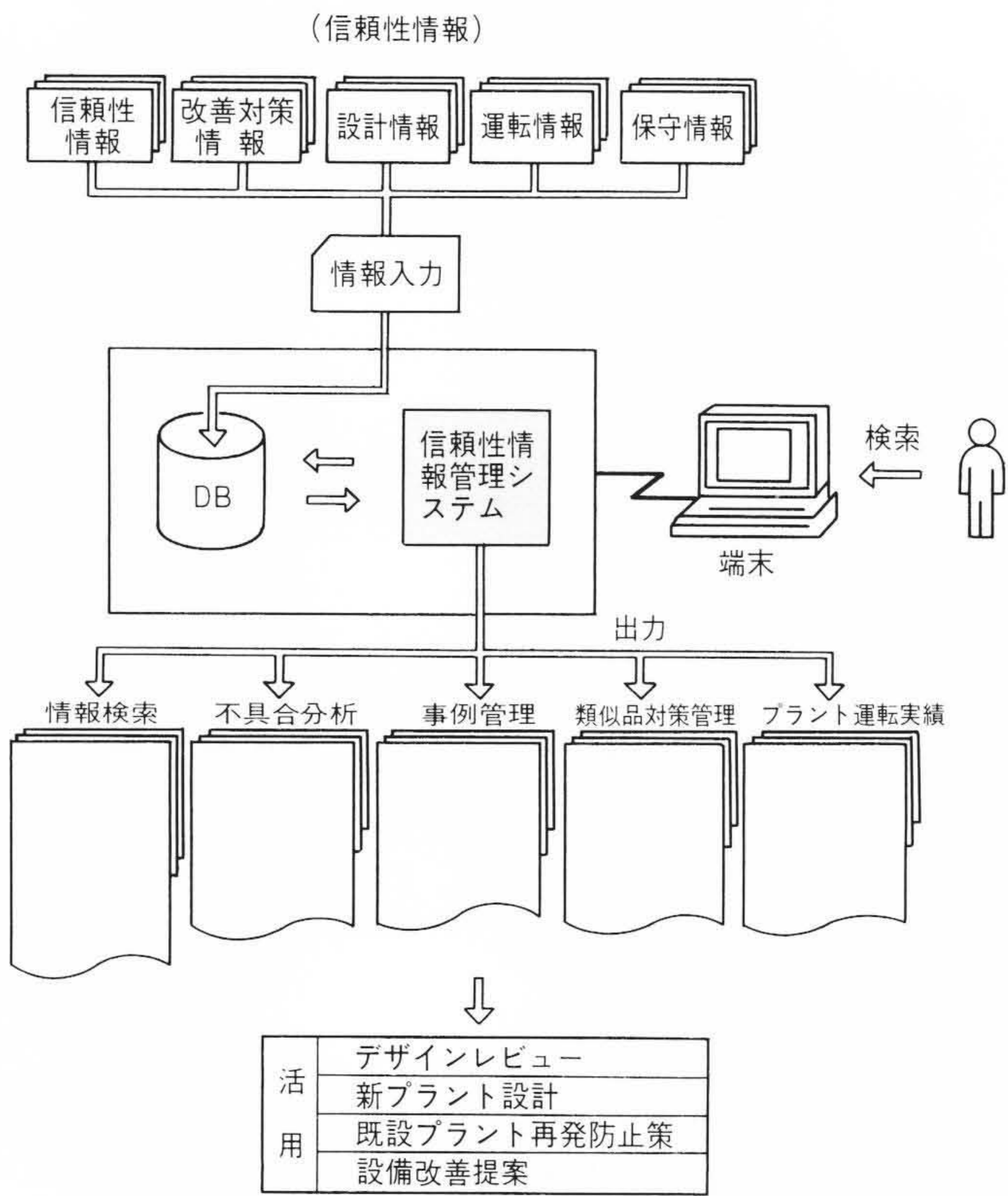


図 8 信頼性情報管理システム概要 各方面から報告される信頼性情報をデータベースに収納し、それらを定期的に各種の管理帳票に出力して利用される。

表 1 信頼性情報管理システムの出力例 信頼性情報管理システムは、使用目的に応じて各種の一覧表を出力する。

(a) 信頼性情報一覧表例

登録 No.	発生日	プラント系	不具合件名	現象	原因
8934	89.03	A MS	MSドレンレベル計器不具合	機械的作動	加工不良
8935	89.07	B AS	ASドレンライン ANN発生不具合	誤作動	配管経路不良
8936	89.10	C 計装制御	ドレンタンクレベル計不具合	電気出力性能不良	試験不良

(b) 類似品対策状況一覧表例

登録 No.	プラント	不具合件名	対策責任者	類似対策				
				A	B	C	D	E
8934	A	MSドレンレベル計器不具合	原 S E X X X	完	未	無	完	完
8935	B	ASドレンライン ANN発生不具合	原 S E Y Y Y	未	完	完	完	未
8936	C	ドレンタンクレベル計不具合	原計装 Z Z Z	完	未	完	完	無

器の保全情報を収集、整理して経年変化状況を把握し、設備改善対策案を策定しなければならず、多大の労力を要していた。そのため、この業務の効率化とこれら予防保全情報を一元的に収集管理するための機械化を図った。それと電力会社への予防保全提案の後、採用され実施することになった項目は、その後エンジニアリング業務から始まり工事完了まで一連の管理業務が発生する。このシステムはここまで一貫して管理する計画とした。

この業務をシステム化するにあたり抽出された提案、推奨項目案を採用するか否かの判断は人間が行うことにし、その判断が的確に下せるように膨大な保全情報を整理して提供する機能を重視した。

図 4 の総合予防保全システム全体構成に示したように、このシステムは構成するサブシステムの情報を総合的に統合することにある。このシステムではまず寿命診断システムを起動し、これにより当該機器の経年変化状況を診断し、寿命または点検時期の予測をする。さらに、点検保守履歴管理システムの当該機器を開いて、過去からの点検保守履歴をチェックし再点検または部品などの交換の要否をチェックする。信頼性情報管理システムからは、当該品または類似品に事例がないかどうかを確認し、さらに他プラントの事例を出力し、設備仕様情報管理システムから当該プラントの類似品を抽出して、上記と同じ流れで点検対象の選択を行う。このようにして、電力会社向けの設備点検推奨、改善提案書にまとめていく。将来的にはこの情報のやり取りを完全オンラインシステム化して、情報収集精度の向上と効率化を図っていく計画である。

また、このシステムは前述したように上記の点検・改善工事が具体化し実施する時点では、個々の工事項目ごとに現地調査、設計、工事計画のエンジニアリングの進捗(ちよく)管理、現地で工事が開始されると施工管理など、プロジェクト管理業務を一元的に処理できるよう計画している。現在はこれらの管理はそれぞれ個々に独立したシステムで運営されているので、今後、このHIATOMSシステム内に統合化、またはシステム連係をとる予定である。

4.4 寿命診断エキスパートシステム

機器の寿命診断を行って点検時期、部品の交換時期を予測することは運転中での異常事象発生未然防止や効率的な予防保全計画を立案するうえからたいへん有効で、日立製作所では広く研究およびシステム開発が進められている。

このシステムは保守関連基準、設計者やベテラン検査員など専門家の知識、経験および点検保守履歴、部品経年変化加速試験データなどを収納したデータベースを保有している。

このシステムの診断方法は、定期検査時に機器を分解して部品の経年変化性状を点検し、その結果から採取されたデータに対して、あらかじめシステムに組み込まれた上記データ

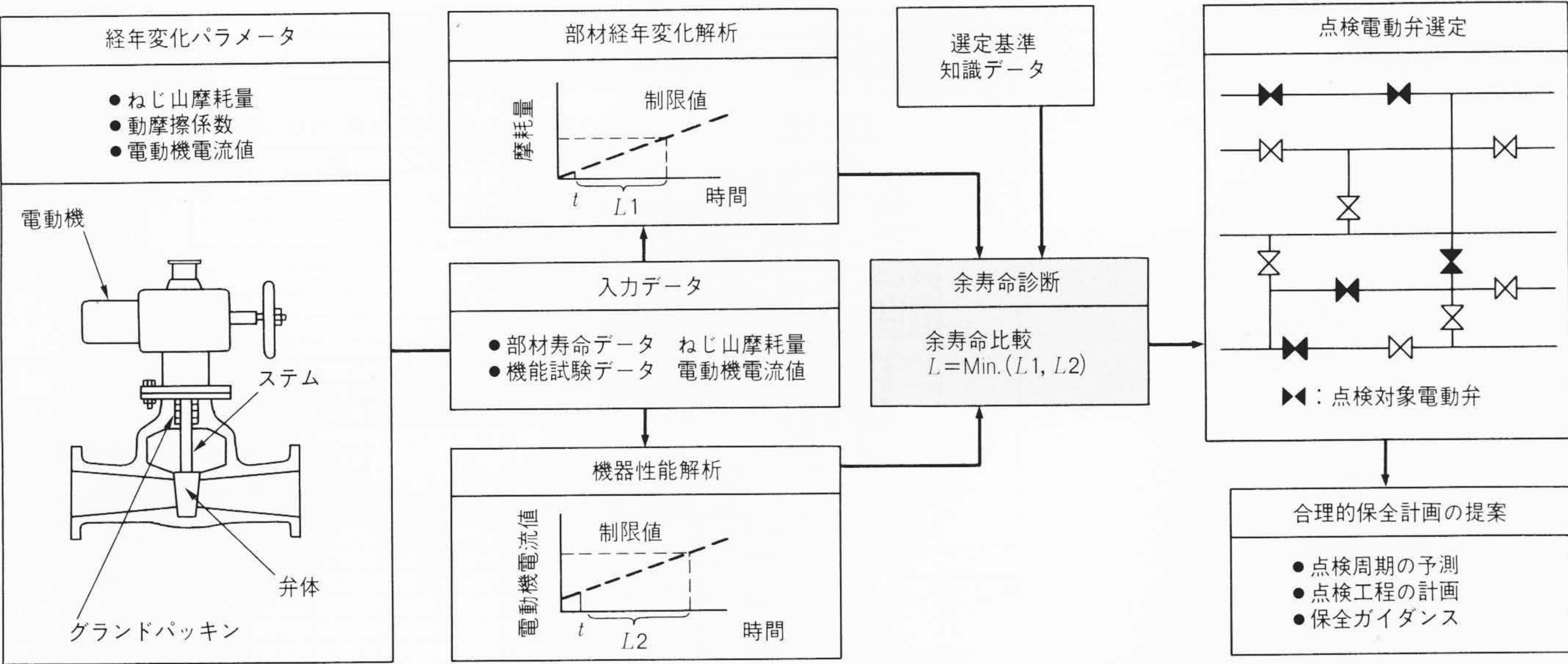


図9 電動弁余寿命診断エキスパートシステム機能の概要 部材経年変化解析および機器性能解析と診断知識が加味されて、最短余寿命が算出される。

ベースを基に推論を下して経年変化状況の診断をするやり方がとられている。

本誌の別論文で代表的なシステムについて述べているので^{3),4)}、ここでは「電動弁余寿命診断エキスパートシステム」を例に、その概要を述べる。このシステムは、長期間の使用によって経年変化が考えられるステムナットとグランドパッキンに注目し、動作回数と寿命(動作回数によるステムナット摩耗、グランドパッキン漏れ変化量の関係など)および定期検査試験時の弁駆動用電動機の電流トレンド分析を評価するものである。このシステムの機能概要を図9に示す。部材経年変化解析または機器性能解析で算出された余寿命を基に、各種の診断情報と照らし合わせて最短余寿命を出し、その結果から類似条

件の点検対象弁を選定していく。このシステムの構成を図10に示す。同図に示すように、このシステムは総合的な保守支援機能を目指し5個のサブシステムで構成しており、知識ベースとして、(1)故障の知識、(2)専門家の知識、(3)加速寿命試験データ、(4)その他前記したような情報、が組み込まれている。出力としては「推奨点検時期バルブリスト」、「次回点検バルブリスト」、「グランドパッキン経年変化摩耗予想曲線」、その他パッキン推定経年変化寿命などが表示される。出力画面例を図11に示す。使用しているコンピュータは日立製作所製ワークステーション2050/32である。このシステムは今後さらに実験データの蓄積と診断知識を追加し、診断精度の向上を図っていく予定である。なお、ここでは触れないが「制御棒駆動機構予防保全システム」²⁾、「復水浄化装置余寿命診断システム」などは多少改善の余地を残してはいるが、エキスパートシステムとして実用化段階に達している。

5 今後の課題

予防保全には、前もって機器ごとに定めてある周期がきたら実施する経時保全と、機器の潜在故障兆候の条件を前もって把握しておき、運転状態を常時監視しながらこの条件を満たす状態を察知した段階で保全を行う状態監視保全がある。現在、一般に行われている保全は前者である。機器はある時間経過すると、機能、性能自体には変化がなくても機器を構成する部品のレベルで見るとその状態には何らかの変化、前兆現象が現れてくる。理想的には、この現象データを常時オンラインでモニタリングして、そのトレンドを監視しながら前兆現象発生時点で保全を行えば、異常に至る前に処置することが可能となる。すなわち、予防保全から予知保全へと保

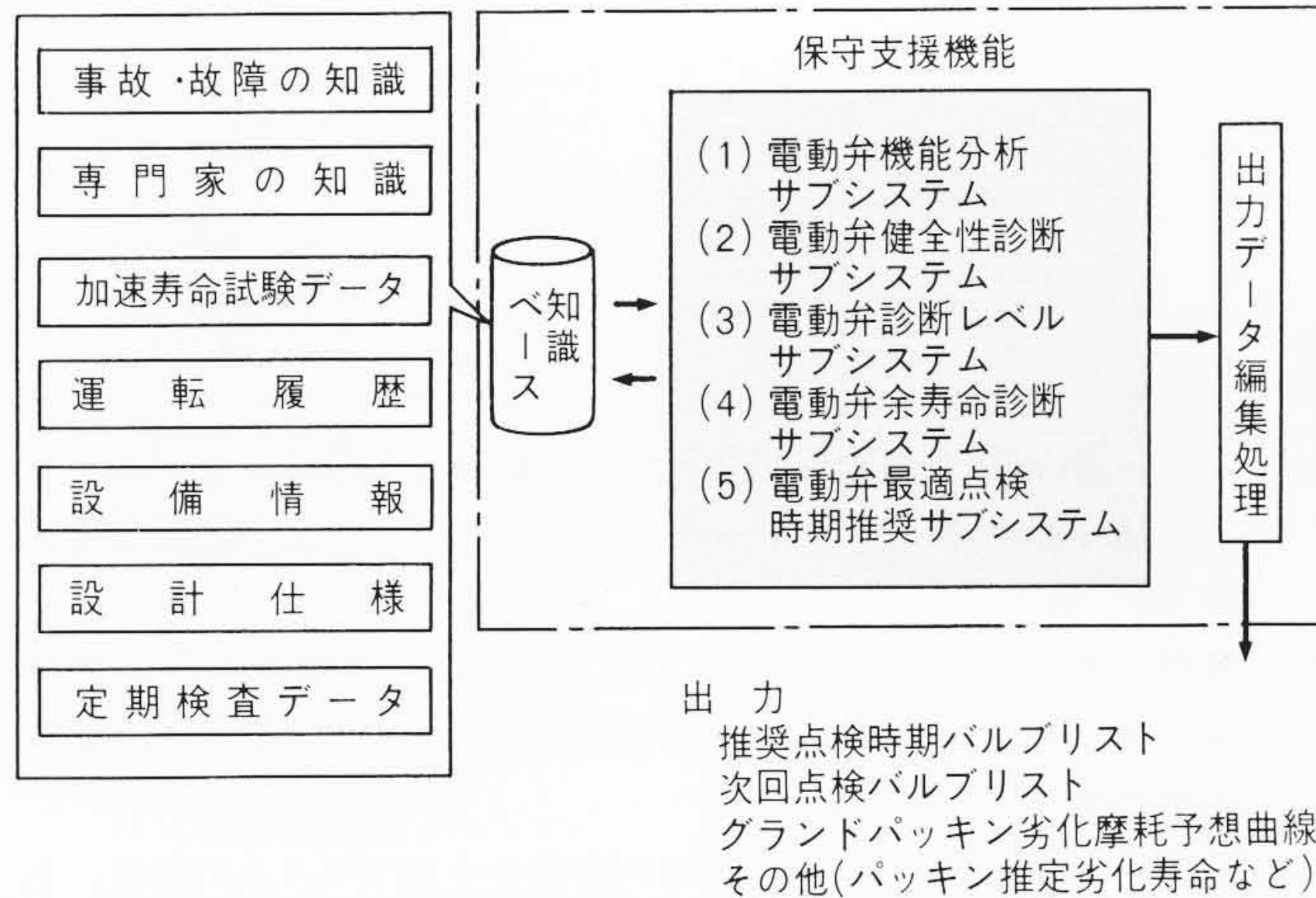


図10 電動弁余寿命診断エキスパートシステムの構成 このシステムの5個のサブシステムは、各種の知識データベースを基に推論を下し、診断結果を出力する。

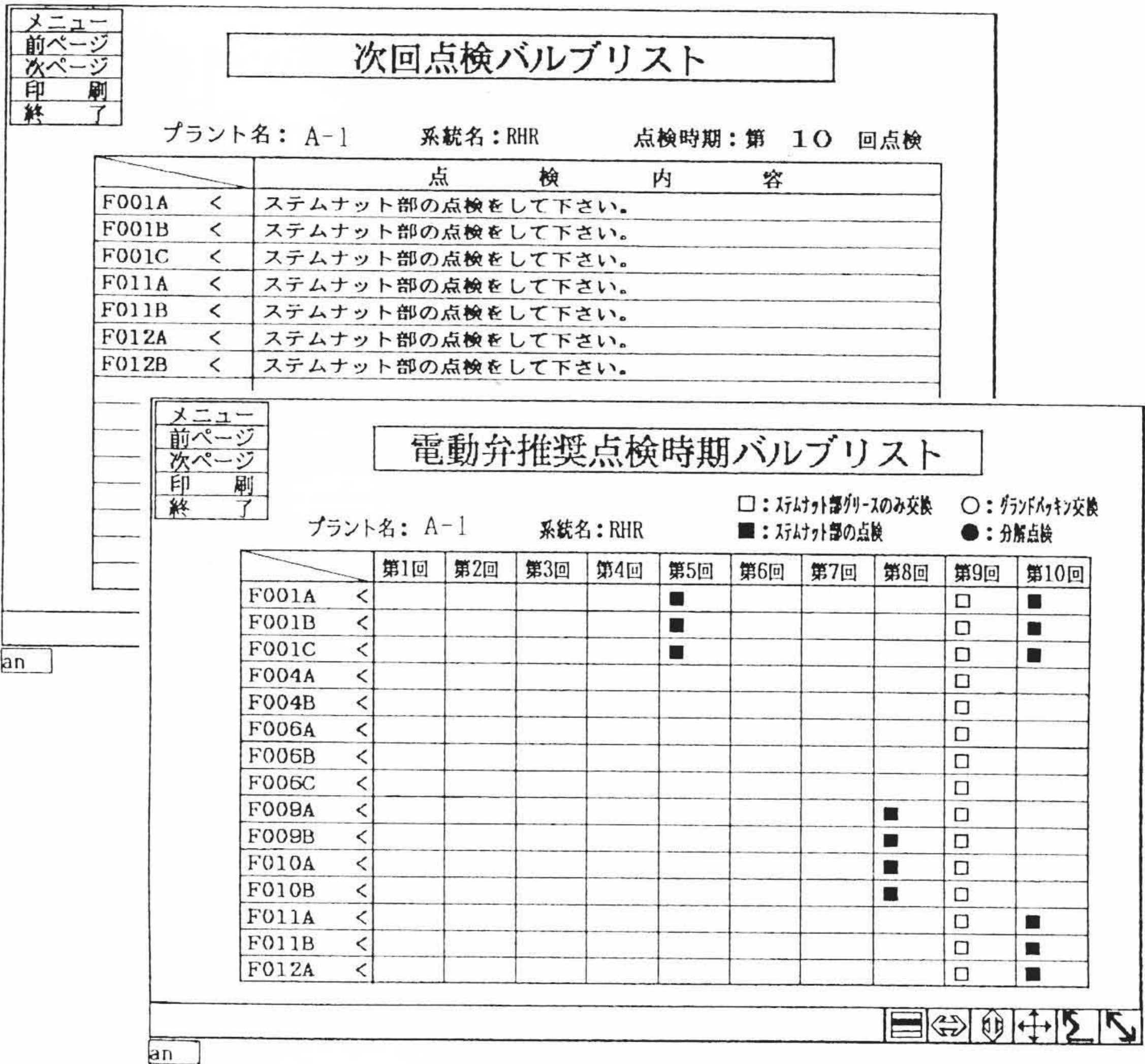


図11 電動弁余寿命診断エキスパートシステムの出力例 このシステムで診断された弁と条件の一致した弁の点検推奨時期が表示される。

全の高度化を図っていくことができる。しかし、この機器の状態を的確に把握するためには、それを間接的に判断できる物理的量、機器ごとの運転、点検履歴およびその機器固有の特徴を前もってつかんでおかねばならない。このように、各種のデータを蓄積して初めてそれが可能になるが、現実には設備そのものが多様であること、使用方法に違いがあること、使用環境がそれぞれ異なることなどのため、画一的にデータを定量化して使用することができないものが多いという問題もある。

また、プラントの全機器を常時監視することは、設備の面からも膨大なコストがかかりむだが多いので、対象機器の重点化が必要になる。以上の諸問題を具体化していくためには、今後、潜在故障を示す諸条件(前兆現象)を明確にする基礎技術に重点をおいた研究が必要である。その一つは、その機器の主要要素を構成する部材の経年変化メカニズムの解明であり、それを検出するセンサ技術の開発である。

なお、これらの開発にあたっては、それぞれ保有するデータの種類の違いから電力会社とメーカーが互いに協力して開発を進めていく必要がある。

6 結 言

以上、日立製作所での総合予防保全システムについて述べた。前述した信頼性情報管理システムおよび設備情報管理システム、寿命診断エキスパートシステムなどの一部ではすで

に実運用に入っているが、より機能を拡大し、使い勝手の良いシステムに仕上げていく必要がある。

今後、運転プラントの増加に伴って信頼性の高い予防保全がますます求められるようになってくることを認識し、システムの高度化を図っていく考えである。なお、各電力会社でもこの種のシステムの開発が活発に進められており、日立製作所はプラントメーカーとしてのノウハウとコンピュータメーカーとしての技術の両方を保有している点から、また、電力会社、メーカー間の連係のとれた予防保全活動を展開していくためにも、これらの開発には積極的に参画させてもらっている。

参考文献

- 1) 柴藤, 外: 原子力発電プラント高度総合予防保全システム, 日本機械学会, 動力・エネルギー技術シンポジウム, 講演会発表論文(平成元年11月)
- 2) 今野, 外: 制御棒駆動機構(CRD)予防保全支援システムの開発, 第19回日科技連出版社信頼性・保全性シンポジウム, 講演会発表論文(平成元年6月)
- 3) 吉川, 外: 制御棒駆動機構の予防保全支援システムの開発, 日立評論, 72, 8, 771~774(平2-8)
- 4) 五十嵐, 外: 原子力発電設備水質診断システム, 日立評論, 72, 8, 775~782(平2-8)