

当社では、国内事業用火力発電設備の改良保全のための保守プログラムを提案し、事業展開を図っている。既設火力を大切にかつ効果的に運用していくためには、プラント設備の全ライフサイクルを考慮した保守計画が特に重要なポイントと考えている。保守計画の柱となるコンセプトが、設備の劣化状態を把握して適正な時期の更新により延命化を図ること、もう一つはスクラップアンドビルドによるリフレッシュを図ることの二つである。

また、IT(情報技術)を活用した新保守サービス構想は、発電所運用に際しての信頼性と経済性を支援してくれる有力な手段であり、改良保全事業のフィールドに変革をもたらす重要な要素の一つと考えている。

Toshiba has formulated a program for corrective maintenance of thermal power plant facilities to promote business development. The most important feature of this program is a maintenance plan taking the entire life cycle of the equipment into consideration. It consists of two key concepts: equipment replacement based on life diagnosis of the equipment under long-term operation, and plant renewal including scrap-and-build programs. Our new maintenance service program using information technology (IT) effectively supports reliability and economy in power plant operations, and is expected to play an important role in the evolution of the maintenance business field.

1 まえがき

国内火力発電設備の中で、経年火力と呼ばれる、運転時間が10万時間を超えるユニットの占める割合は約75%になる。

経年火力の延命化を図るために、設備の劣化状態を把握すること、及びスクラップ&ビルドを含むプラントのリフレッシュを念頭に入れた長期の保守計画をたてることが、保守のベースとなる考え方となる。

特に、プラントのライフサイクルを考慮した保守計画が重要なポイントになる。すなわち、プラント寿命を50~60年と考えるならば、タービンロータなどの大物部品はプラントのライフサイクル中に一度は更新する必要があるため、あまり更新を引伸ばして補修費・検査費用を掛けていくよりは、適当な時期に思い切って更新したほうが、累積補修費用とし

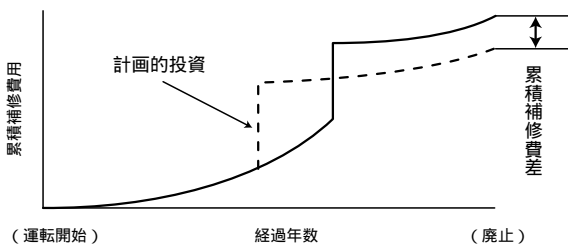


図1. ライフサイクルを考えた長期保守計画 プラントの寿命を考慮した計画的投資によりトータルメンテナンスコストの低減が図れる。
Life-cycle concept for economical maintenance plan

ては経済的だからである。これが、発電所の保守におけるライフサイクルコンセプトである(図1)。

2 蒸気タービン設備の保守技術

蒸気タービンの大物部品(ロータ、ケーシング、MSV(Main Stop Valve:主蒸気止弁)/CV(Control Valve:蒸気加減弁)など)の更新実績を調査してみると、経過年数で20~25年、運転時間で15万時間ぐらいになると、そろそろ更新の時期であることが統計的にも示される(図2)。

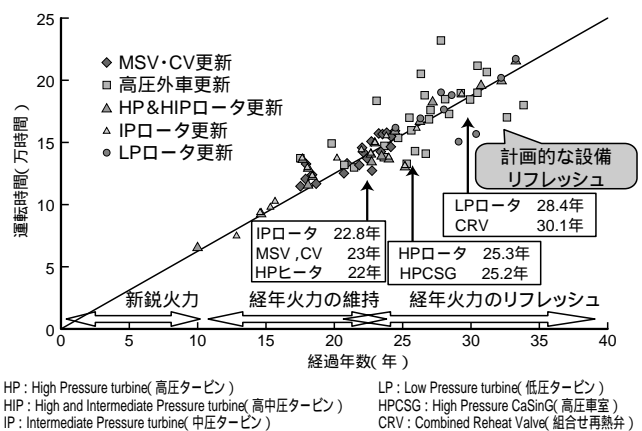


図2. 蒸気タービン大物部品の更新実績 運転経過年数が20~25年になると、蒸気タービン大物部品の更新検討が必要となる。
Long-term replacement plan for steam turbine components

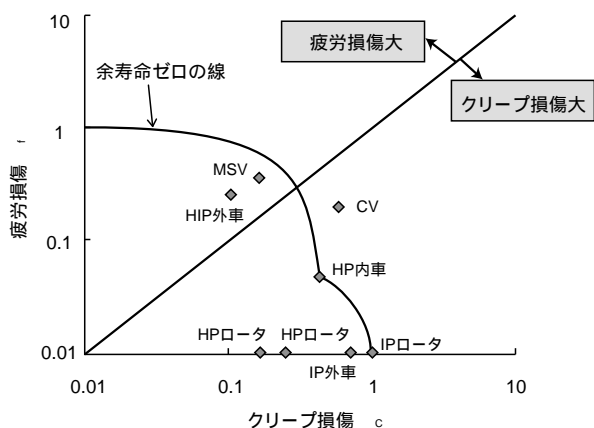


図3. タービン高温部品の寿命診断・評価 余寿命診断結果を基に、ライフサイクルを考慮した計画的な設備更新が大切である。
Life diagnosis of high-temperature parts of turbine

蒸気タービン高温部の劣化対策として、高温での長時間運用によるクリープ損傷や起動停止に伴う熱疲労については余寿命診断をして、その結果により部品を更新していくプロセスとなる(図3)。

また、比較的短時間の損傷形態である、ボイラスケールなどによる侵食対策としては、高中圧初段ノズルに、耐侵食性に優れた材料を適用する技術がある。

タービン低圧部の劣化要因としては、ロータ翼植込フック部の腐食疲労、ロータ中心孔の内部欠陥の顕在化などがある。動翼については、最終段(L-0)、その一つ手前のL-1、二つ手前のL-2翼のSCC(Stress Corrosion Crack)や腐食疲労の問題があり、L-0翼についてはドレンによる侵食の問題がある。特に、飽和線近傍の乾湿交番域では、蒸気中に存在する微量の腐食成分が析出し蓄積することによって、経年的な孔食(こうしょく)^{注1)}が発生し進行していく環境にさらされることになる(図4)。

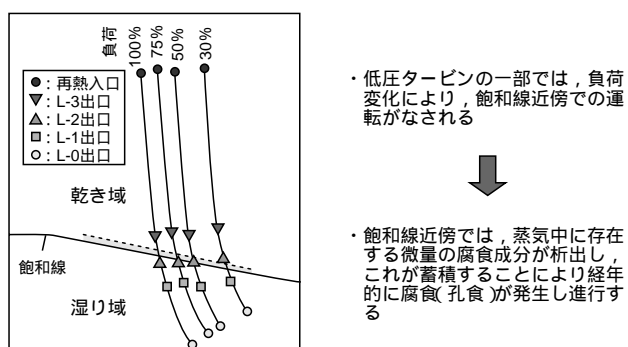


図4. L-1/L-2翼の乾湿交番域での腐食疲労 飽和線近傍の乾湿交番域では、腐食が発生しやすい運転環境となる。
Corrosion fatigue around saturated-line area

(注1) 金属腐食形態の一つで、局部的に浸食が進む腐食。

このため、負荷変化により、乾湿交番域を横切る運転環境にあるL-1及びL-2翼の抜取り点検を行い、孔食成長評価を行うことが重要になる。孔食深さが0.2mm以下であればロータのスキナットを行いスナツバ翼へ更新することを推奨している。スナツバ翼は、全周一群の構造で、振動応力が半減する長所があるほか、構造的にテノン/シュラウドがないため、翼が再利用できるメリットもある。

一方、孔食深さが0.2mmを超える場合は、最終段や中心孔の状況などを総合的に評価して、ロータ更新のプロセスとなる。

高圧初段ノズルのボイラからのスケールエロージョン対策としては、耐食性に優れたホウ化処理ノズルボックスの採用が有効な対策となる。中圧初段に対しても、同様に耐食性に優れたセラミック溶射ノズルの採用が有効な対策となる。

主要蒸気弁のスケール対策としては、弁棒材料にインコイ、ブッシュにステライト溶接を施す技術があり、これにより、スケール生成速度は、従来の約1/3に軽減される。要は、既設の蒸気タービンをリフレッシュする際の考え方として、単なる部品交換ではなく、効率向上などの付加価値を付けて改造すべきと考えている。

この考えの下に、新技術適用による高中圧タービン段落設計の最適化、最終段の長翼化、蒸気通路部への性能向上対策適用といったメニューがある。これらの改造により、熱消費率が2~3%程度の効率向上が期待できる。

更に、大幅なプラントの効率向上やCO₂削減を期待する場合には、既設プラントのコンバインドサイクル化の方策がある。その一つの、パラレルブロック方式は、既設の蒸気タービン設備にガスタービンと排熱回収ボイラを追加し、排熱回収ボイラ蒸気を蒸気タービンの主蒸気及び再熱蒸気に回収して、ボイラの燃費を低減して効率向上を図るものである(図5)。

熱交換器に関する新しい保守技術の一つに、既設復水器

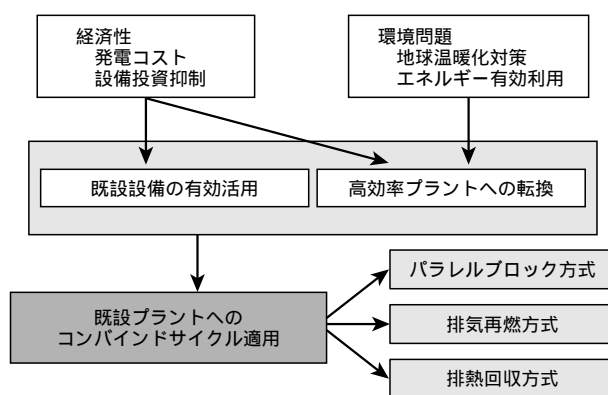


図5. 既設プラントのコンバインドサイクル化 経済性及び環境問題への対応に優れた既設火力のコンバインドサイクル化が考えられる。
Refreshment plan for combined cycle power plant

をチタン化するための管束モジュール交換技術がある。既設の黄銅管復水器の冷却管と内部構造物を撤去し、新たにチタン冷却管と管板、支え板などを一式モジュールとして挿入する技術である。このモジュール交換技術により、最新の新型高性能復水器の設計技術を採用できる付加価値を付けることも可能となる。

チタン復水器の運用にあたっては、特に海生物付着防止対策が必要となるが、水室管板面の海生物付着防止対策として、チタンシートによる海生物付着防止装置を開発した。これは、チタンシートを管板にはり付け、微量の電流を流すことにより酸素を発生させ、酸素のバクテリア殺菌作用により海生物の付着を防止するものである(図6)。

配管についても、保全が重要であることは言うまでもない。ややもすると、タービンのような大物機器が予防保全の考えに基づいて保守が行われるのに対し、配管はどちらかというと、何かあったら直すという事後保全的な対応が主であっ

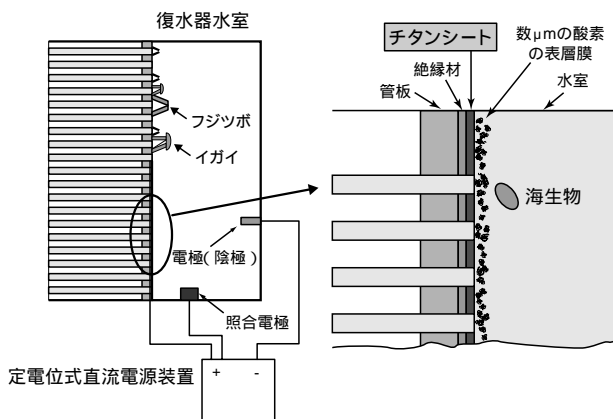


図6. 復水器管板面海生物付着防止装置 チタンシートに微弱な電流を流して酸素を発生させ、海生物の付着を防止する。電位は塩素を発生させない電位に制御する。

System for preventing adhesion of marine aquatic organisms

配管系統	環境	損傷因子
主蒸気, 補助蒸気配管	高温 温度変化	クリープ損傷, 低サイクル疲労・熱衝撃
高圧給水管, 復水管, ヒータドレン管	圧力変化 相変化	減肉 ウォータハンマ
復水器ドレンヘッダ	高温 温度変化	クリープ損傷, 低サイクル疲労・熱衝撃
循環水管, 海水管	海水	電食, ウォータハンマ
小口径配管	振動	高サイクル疲労

図7. 配管の予防保全 計画的な配管設備総合点検による健全性確認が大切である。

Maintenance plan for piping

た面も否定できない。しかしながら、プラントの経年が進むと、配管の不具合によりプラントの運転そのものに影響を及ぼす事例も出てきている。特に、高温の蒸気管や圧力変化を伴うヒータドレン管などは、その損傷による影響も大きく、健全性の確認が必要となる。

また、小口径管についても、経年が長くなるとサポートのゆるみなどにより振動状態の変化が生ずる可能性があり、軽視することはできない。設計者を加えた運転中の計画的な総合点検が有効な手段となるほか、必要に応じて、振動などの解析による評価を行うことも有効な対策の一つとなる(図7)。

3 電気・計装制御設備の保守技術

電気設備についても、定期点検(以下、定検と略記)インタルの延長やDSS(Daily Start and Stop: 毎日の起動・停止)など発電所運用形態の変化に伴い、最適な保守・点検が重要になる。

発電機、電動機、変圧器などの大物機器については、劣化の状況を把握して、個別に部品を交換していく方法となる。制御装置やSWGR(SWitch Gear: 開閉装置)に関しては最新の技術を適用して、全体あるいは部分的に更新する方法がとられる。更に、汎用のインバータを補機電動機に適用する省エネルギー技術を利用した更新の考えもある。

発電機の経年劣化要因の主な対策として、回転子についてはエンドリング材料のSCC対策、固定子については巻線の絶縁劣化に対して絶縁診断を行い、その結果により更新するアプローチが必要となってくる(図8)。

ACエキサイタ(交流励磁機)は、絶縁にアスファルトコンパウンドやソフトアーマ絶縁を採用しているが、経年的に劣化を起し、剥離(はくり)などにより機械的強度が低下すると、絶縁破壊を起こす危険性が生ずるので、30年程度を目途にコイル巻替えが必要となる。

保護リレーについては、メカ型及びアナログ型のリレーが、近い将来廃止の方向にあり、信頼性、保守性に優れたデジタル型リレーへの更新が必要となってくる(図9)。更新にあたっては、コンパクトな自立盤タイプのほか、スペースが取れない場合は、既設の盤を利用し、そこにデジタルリレーをはめ込む方法も可能である。

メタルクラッドスイッチギア(高圧閉鎖配電盤)用の旧型遮断器と同様に、パワーセンターの旧型遮断器についても新型のACB(Air Circuit Breaker: 気中遮断器)に更新していく必要がある。パワーセンターについては、これまで盤を含む一括更新しかできなかったが、最近、レトロユニット法と呼ぶ部分更新法が確立され、盤一式更新に比べ、低コストでの更新が可能となった。

汎用インバータを適用した省エネルギー対策として、パワ

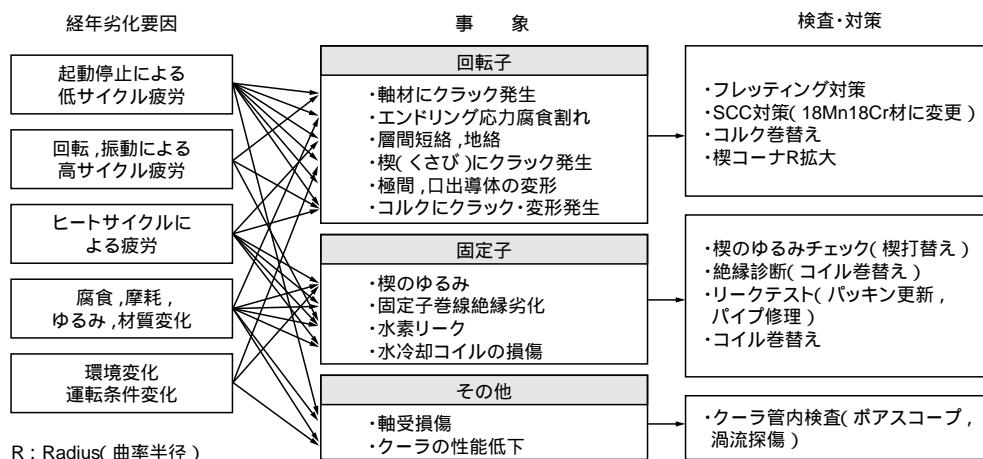


図8. 発電機の経年劣化要因 発電機の回轉子及び固定子について, 経年劣化に対応した検査・対策が必要となる。
Factors in generator deterioration

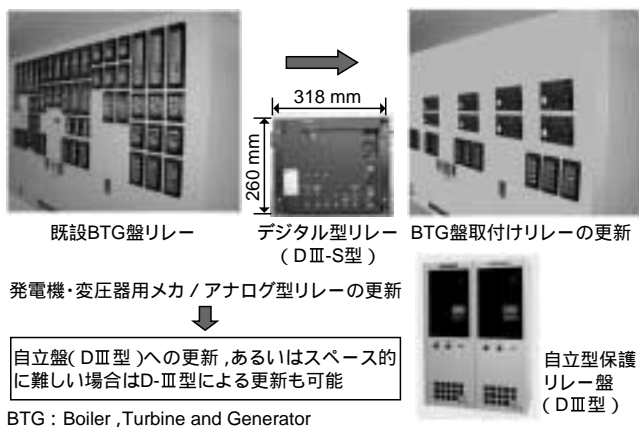


図9. デジタル型リレーへの更新法 信頼性及び保守性に優れたデジタル型リレーへの更新が必要となってきている。
Replacement method for digital relay

一センター級の補機電動機にインバータを採用する技術がある。一例として, 従来, ドレンポンプの流量変化を弁を絞って調節することによる機械損傷が発生していたが, インバータで電動機の回轉数を変えることにより消費動力が削減できる。試算では, 年間数百万円程度の運転コスト削減となるので, 数年で初期投資を回収でき, 以後は利得ができることになる。また, 汎用インバータは, 小型でコントロールセンター盤の2面相当で済み, 場所をとらない特長を持っている。

制御装置の保守, 寿命に関しては, 三つの考え方がある。可動部品や電子管などについては, 定期交換により寿命となる部品を更新していくことになる。

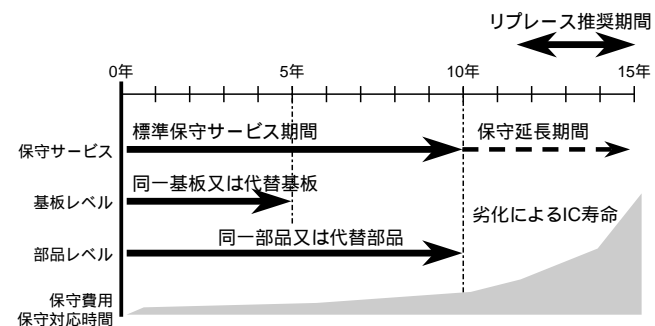
計算機や制御装置の中心的要素である基板は, 非常に技術革新の激しい分野であり, いつまでも交換部品があるというわけにはいかない。また, ICや半導体製品についても,

半永久的に使えるということではなく, 寿命があることがわかってきた。計算機や制御装置の保守サービスの基本サイクルは, 10年の標準保守サービス期間の後, 5年程度の保守延長期間があるが, ICの寿命劣化といったことも考え併せると, 15年前後にリプレースの検討時期が訪れることになる(図10)。

また, ソフトウェアの機能向上にハードウェアが追いつかないといった, ハードウェアとソフトウェアの協調についても保守の中で考えていかなければならない問題となる。

発電所の運用集中化のコンセプトは, 発電所運用形態の見直しのニーズに対応したもので, 複数の中央操作室(以下, 中線と略記)の機能を一か所に集中し, 運転員の集中配置を実現するものである。通常運転中は, 運転員のいない中線の警報や監視操作信号をカメラや入出力装置により, 運転員のいる通常運転中線に送って監視・運用する仕組みを実現する。

経年火力では, 自動化導入率も低く, 運転員も相対的に多



参考: JEMA「監視制御用計算機システムの保守指針」

図10. 計算機・制御装置の保守・更新サイクル 計算機及び制御装置の更新に際し, ICや半導体の寿命劣化の要素も考える必要がある。
Maintenance program for computers and control devices

いこと、また、稼働率の低いユニットでは運転操作の機会が少ないといった新設プラントとの環境格差が生じてきている。こういった環境に呼応して、運用方法を見直し、複数の中操の機能を一か所に集中して、運転員の集中配置、共通化を実現するのが運用集中化の考えである(図11)。

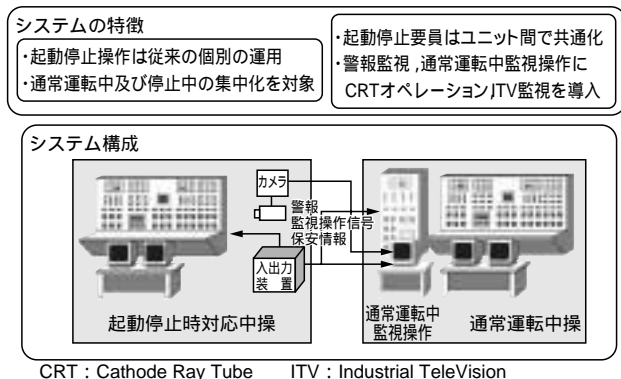


図11. 発電所運用の集中化 複数の中操の機能を一か所に集中して、運転員の集中配置を実現する。
Centralization of power plant operations

従来の発電監視制御システムは、いわゆる電力仕様で作られていたが、発電所には、環境設備、所内ボイラ設備、水処理設備といった周辺設備の監視システムがある。

TOSMAP-DS™は、周辺設備の監視用として開発された制御システムで、従来の発電設備監視制御のノウハウと最新の汎用技術をベストミックスし、コストパフォーマンスに優れたシステムを意図して開発されたものである。監視装置、制御装置、エンジニアリングステーションを制御ネットワークで結んだ構成で、オフィスパソコン(PC)と同じような操作性を持つ、ユーザー開放型のオープンなシステムを特長としている(図12)。

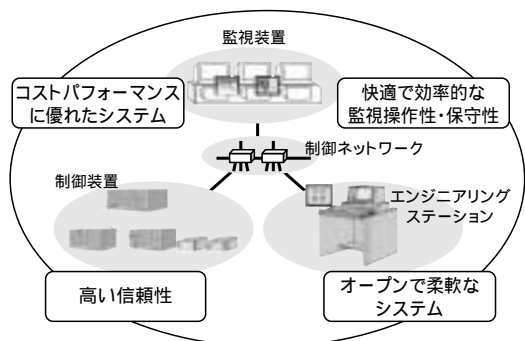


図12. 汎用型監視制御システム(TOSMAP-DS™) 発電設備監視制御のノウハウと最新の汎用技術をベストミックスしている。
TOSMAP-DS™ distributed control system

4 新保守構想

新保守構想の背景は、定検インターバルの延長に伴って、定期的かつ迅速な運転監視の必要性が増したこと、長期保守計画策定のために設備劣化状態の把握の必要性が増したこと、更に、運転保守にかかわる業務合理化のために、データベースを介した情報の共有化が特に必要になったことがある。

現在、新保守構想として、下記の五つの分類に分けたサービスメニューを企画・立案している(表1)。

表1. 新保守サービスメニュー
New service menu of plant maintenance program

サービスメニュー	現 状	新保守	導入効果
運転監視支援 ・安定運転の監視 ・異常兆候の把握	・運転員 ・警報	・各部性能などのオンライン監視	・ユーザー・メーカー連係による総合監視
保守支援 ・異常発生時のデータ分析 ・傾向把握による先行保守	・事後対応	・振動・機能異常などのオンライン診断	・メーカー専門家による迅速な分析・報告
定検業務支援 ・定検業務技術支援 ・点検データ管理支援	・紙の点検マニュアル	・電子マニュアル ・設備管理システム	・わかりやすい保守管理 ・データのデータベース化
日常点検支援 ・現場パトロール支援 ・現場監視支援	・補修員	・無線情報システム ・音・振動診断装置	・迅速な情報の伝達と共有化 ・マルチメディア診断
技術情報支援 ・ドキュメント管理システム ・Web利用のサービス	・紙ベース	・PDM ・Web情報サービス(TTIL)	・電子ドキュメントによる一元管理 ・インターネットによる広域技術サービス

- (1) 運転監視支援 運転中の各設備の性能や異常兆候把握のためのオンライン監視を実現する。
- (2) 保守支援 異常発生時のデータ分析・診断をオンラインで行う機能を実現するもので、(1)と併せ、いわゆるリモート診断と呼ばれるものである。
- (3) 定検業務支援 定検業務に必要なマニュアル類の電子化や定検データを管理する設備管理システムを構築する。
- (4) 日常点検支援 無線情報システムや、現場パトロール支援のためのマルチメディアを利用した音・振動診断装置などを提供する。
- (5) 技術情報支援 PDM(Product Data Management system)などのデータベース間の連携サービスやWebによる技術情報サービスを提供する。

運転監視支援のメニューの例として、タービンノズル侵食監視支援システムがある。主蒸気流量と加減弁開度の関係を測定し、制限値を超えた場合に、ノズル面積の増加による異常を検知するものである。同様に、発電機出力、主蒸気圧力、第1段シェル圧力などの主要なパラメータを監視し、運転状態の変化を恒常的にとらえることにより、個々の機器ご

との健全性を把握するものである。

保守支援のメニューの例として、タービン発電機の振動監視診断システムがある(図13)。タービン監視計器(TSI)からの振動データを、データ処理PCに取り込み、回転数-振幅のグラフや、振幅-位相のグラフをPCベースで解析・記録作成することができる。

当社で開発した高速データ収集装置(PSME)は、詳細データを収集するのに適しており、運転中に異常傾向のあるデータを、ネットワークを介してオンラインで専門家のいる場所に送り、迅速な診断・評価を行うことができる。

定検業務支援のメニュー例として電子マニュアルがある。従来の紙のマニュアルに代わって、動画や音声などのマルチメディア情報を取り入れたもので、CD-ROMなどの電子媒体に収録し、どこでも手軽にPCからわかりやすいマニユア

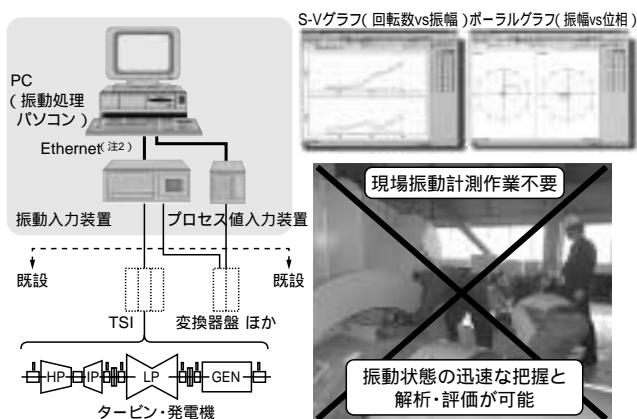


図13. タービン発電機振動監視診断システム PCベースのシステムで、タービン・発電機の振動状態の迅速な把握と評価が可能である。
Turbine and generator vibration monitoring system

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の商標。

ルを参照することができる。

電子マニュアルは、CALSC(Continuous Acquisition and Lifecycle Support)の世界での代表的要素技術の一つであるIETM(Interactive Electrical Technical Manual)の原型に相当する技術である。

設備管理システムは、定検の作業記録や点検データを登録・管理して、必要な帳票類を出力したり、報告書作成に必要なデータを提供するものである。当社で開発した設備管理システムは、設備診断データを登録することにより、傾向管理をはじめとする設備健全性の総合判断支援を行う機能を付加しており、各種定検データと併せて、次回の定検計画あるいは長期の保守計画のベースとなる情報を提供する機能を備えている(図14)。

日常点検業務支援のメニュー例として、無線情報システムがある(図15)。発電所内の複数の中操間、あるいは中操と現場間の情報連携をPHSなどの無線LANにより行うもので、特に、PHSは既に多くの発電所で普及しており、比較的簡単にシステムを構築することが可能である。

電動機などを対象とした、音・振動診断装置は、加速度ピックアップとPC及び診断ソフトウェアで構成されている。診断ソフトウェアに電動機軸受仕様をデータベースとして搭載しているため、短時間での測定・診断が可能である。診断結果として、異常の有無、程度、異常の部位が示される。

技術情報支援のメニュー例としての、Off line PDMは、当社のPDMで管理しているドキュメントや図面を外部から参照できるビューワである。PDMにはオリジナルの電子データのほかに、データの長期保存及び他のデータ管理システムとの連携を考慮して、TIFF(Tag Image File Format)やPDF(Portable Document Format)といったデファクトスタンダードのファイル形式でも格納してある。電力会社に取扱説明書や完成図書を電子化して納入した場合、このOff line

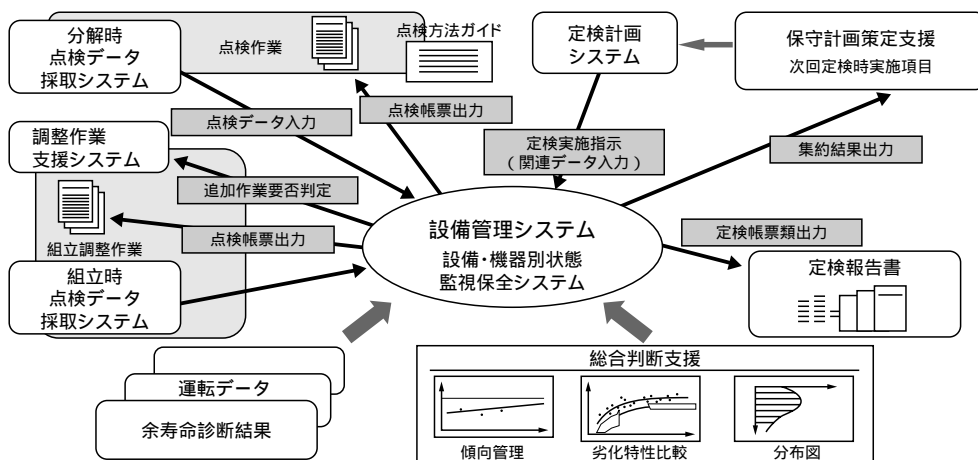


図14. 設備管理システム 定検時の分解・組立データ及び設備診断データを登録して、今後の設備点検計画のベースとなる情報を蓄積する。
Plant equipment management system

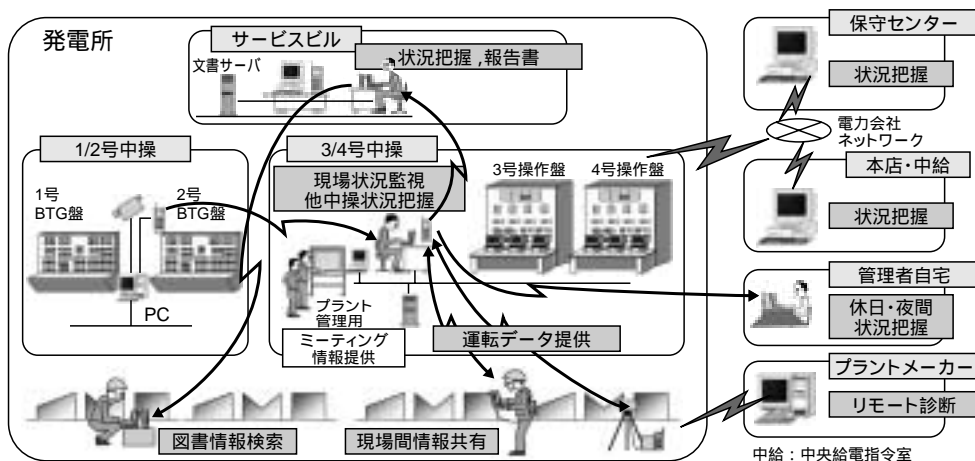


図15. 無線情報システム 発電所内の複数の中操間あるいは中操と現場間の情報連携を、PHSなどの無線LANにより行う。
Wireless information-sharing system

PDMを使うことにより、当社のPDMを参照するのと同じ環境で、PCからドキュメントを参照することが可能となる(図16)。

当社では、TTIL(Toshiba Technical Information Letter)と呼ばれる技術情報を電力会社に紙の形で提供してきた。これは、火力プラントで発生した不適合事例の水平展開としての改善策や研究開発に基づく技術情報を提供するサービスで、このサービスを、Web上で提供する仕組みを構築し、既に一部で運用を開始している(図17)。



図17. Webオンライン技術情報サービス(TTIL) 火力プラントで発生した不具合事例の改善策、あるいは研究・開発などに基づく最新技術情報をWWW上で提供する。
Technical information delivery service via Web

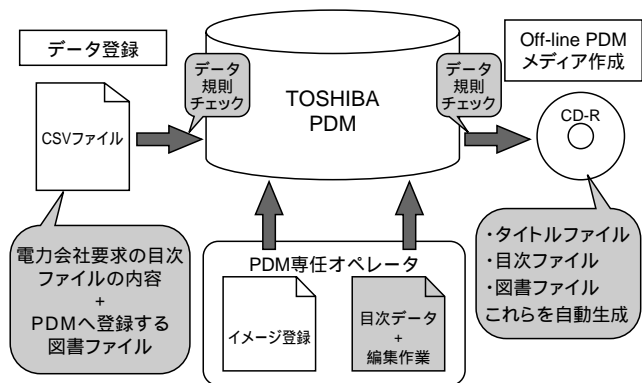


図16. Off-line PDM 電子的に一元管理しているドキュメントを、遠隔の場所から参照することができる。
Off-line product data management (PDM)

側との共通の関心であり、ゴールと認識している。そのために、プラントの全ライフサイクルを考慮した、保守計画が特に重要なポイントと考えている。また、ITを活用した新保守構想は、経年火力を運用していくうえで、その信頼性と経済性を支援してくれる有力な手段となる。業務に密着した形でのITの活用により、業界大での業務の効率化・変革に寄与していくことも考えている。

今後、更に、電力会社のニーズを加味し、改良保全事業全体を一つのサービス事業ととらえ、当社の付加価値を提供できるメニューの充実に努めていく考えである。

5 あとがき

既設火力の改良保全への取組みと新しい保守の構想について、当社の考えについて述べた。

昨今の電力事業環境のなかで、既設火力を、いかに効率的に運用・保守していくかが、電力会社とわれわれメーカー



北川 理一郎 KITAGAWA Riichiro
電力システム社 火力事業部 火力改良保全技術部長。
国内事業用火力発電所の保守・改良保全事業にかかわるエンジニアリング業務に従事。
Thermal Power Systems & Services Div.