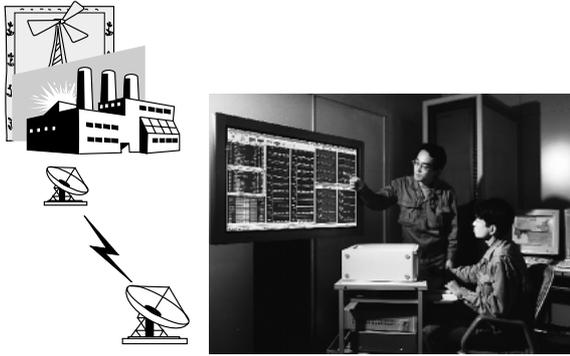


未来へつなぐ原動機の顧客サービス

Power Systems - A Portal to all Services for Electricity Generation



黒石卓司 南芳弘 小林由則
 横山知充 長谷川佳昭 景山修
 湊本倫生

近年の電力市場は自由化の動きに伴い、発電設備の保守サービス分野まで大きな変化が生じている。この動きに対応する当社の顧客サービスへの取組みを紹介する。① サービスの特長：原動機のサービスは、これまでの予防保全から、経済的、かつ信頼性を確保した必要最低限の保守へ移行しつつある。② 注目すべき要素技術(高信頼性、実績、新規性等)：顧客サービスのニーズにこたえるべく、新しい保守技術(PAM)、時代にマッチした検査技術(Auto-MLAS)、IT技術を活用した遠隔支援等に取り組んでいる。

1. はじめに

当社は、これまで発電設備の技術向上に努め、時代のニーズに合わせた数々の新製品を開発し、市場に提供してきた。近年の電力市場自由化への動きに伴い、電力を取り巻く環境に急激な変化が起きている。この流れは、発電設備の保守サービスの分野も例外ではなく、これまで主流であった予防保全から、経済的、かつ信頼性を確保した必要最低限の保守へと考え方が変わってきた。したがって、これまでにないサービス技術が必要とされている。ここでは、当社における顧客サービスへの取組みと、これからの時代にマッチした保守技術の一端を紹介する。

2. お客様へのサービス支援

当社は、これまで火力発電設備の主要製品全般にわたり、設計、製作、据付、保守に携わり、国内外へ多くの設備を納入してきた。これにより得られたデータは豊富であり、また、これに携わってきた技術者には豊富な経験が蓄積されている。当社におけるお客様へのサービスの基本は、蓄積されたデータと豊富な経験に裏打ちされた技術である。以下にこれ

らの取組みについて紹介する。

2.1 蓄積されたデータ

当社発電設備の主力製品を例とすれば、2002年4月現在で、ボイラ2836缶、蒸気タービン1459台、ガスタービン401台の納入実績がある。この豊富な実績と蓄積されたデータがお客様へのサービス提供の大切な技術の源泉である(図1)。

これらのデータは、発電設備の仕様情報や運転情報、また、定検での検査履歴や保修履歴も加味され、データベースとして管理されている。

2.2 豊富な経験に裏打ちされた技術者による対応

また、豊富な実績は技術者の経験として蓄えられる。そして、発電設備の幅広い技術に関するお客様のご要望に的確にこたえるために、ボイラ、タービン、制御、運転に精通した技術者が連携しながら、ご満足いただける対応に努めている(図2)。

2.3 管理されたデータと経験に裏打ちされた技術によるサービス

管理されたデータと経験に裏打ちされた技術によるお客様への各種サービスを紹介する。

(1) 技術改善提案、技術懇談会、火力セミナー

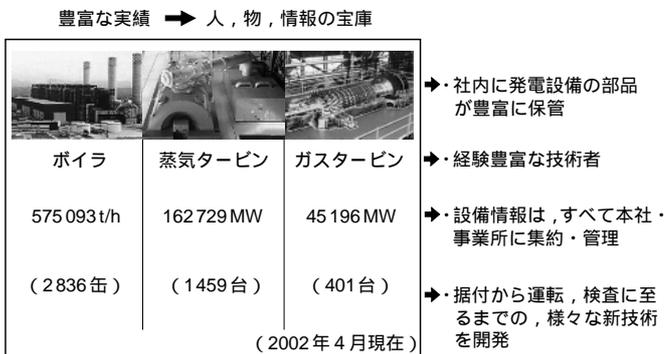


図1 世界に広がる豊富な実績

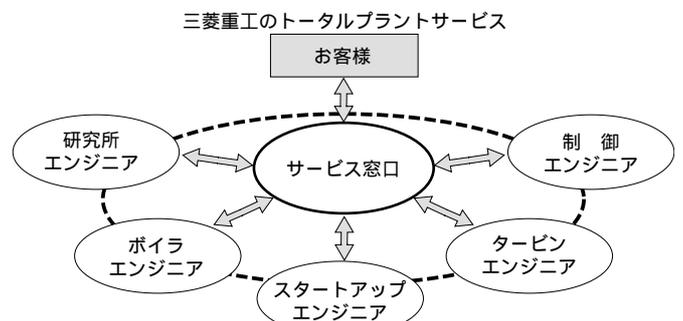


図2 トータルプラントサービス

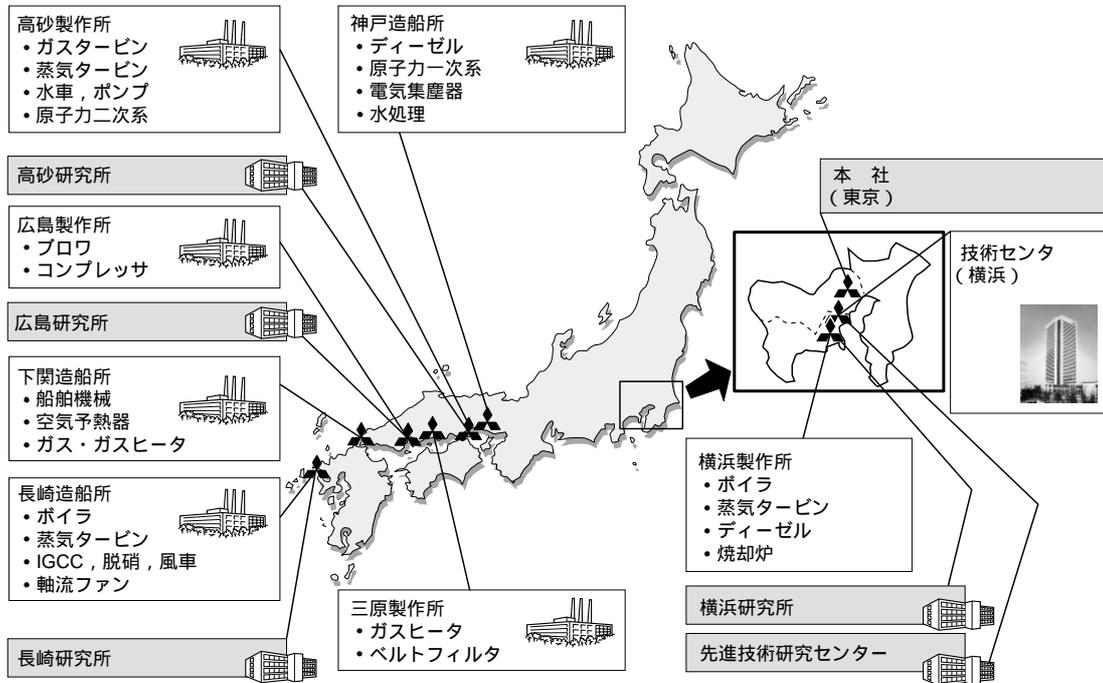


図3 事業所と研究所の隣接配置

お客様ごとに配置された技術者は、これまでに蓄積された保守情報、不適合の水平展開、また、お客様のニーズを反映した保守計画の立案などを整理し定期的に技術提案書にまとめ、発電所ごとのお客様にフィードバックしている。

また、これらの情報を発電所間でも共有していただく目的で電力会社ごとに、技術懇談会、保守セミナーを開催し、お客様との情報交換に努めている。

(2) 不適合発生時の原因究明

不適合発生時には迅速な対応が求められる。また、この原因究明とその対応立案については、掘り下げた解析が必要となる。そして事業所及び隣接した研究所が検討することで、総合技術力をいかしたサービスを行っている(図3)。今後も、管理されたデータと経験に裏打ちされた技術の強みをいかし、お客様に満足いただけるサービスに努めてゆく所存である。

3. 時代のニーズに対応した技術

しかしながら、近年の電力市場自由化への動きに伴い、経済的、かつ信頼性を確保した必要最低限の保守が求められている。これに対し、当社ではこれまでに培った総合技術力をいかし、時代のニーズに対応した新製品の開発、サービス技術の開発に取り組んでいる。この取組みの一端として、大幅な検査期間短縮を実現した“Auto-MLAS”、部品の検査や保守計画を経済的に最適化した保守戦略システム“PAM”、海外コンパインドサイクルガスタービンを中心に増加しつつある長期保守契約“LTSA”、そして、技術継承への積極的な取組みとして“シミュレータを利用した研修”を紹介する。

3.1 Auto-MLAS (MLAS: Mitsubishi Metallurgical Life Assessment System)

火力プラント高温耐圧部に使用される低合金鋼のクリーブ

損傷を、短時間に専門家と同等の精度で評価できるAuto-MLAS (MLAS: 組織対比法 + ボイド個数密度法)を開発した。これにより検査結果を踏まえた標準的な定検期間内の応急対策が可能となった。

欠陥検出には十分な高精度デジタル顕微鏡 (1000倍) で得られた組織画像をコンピュータによる自動画像処理化したことで、2~3ヶ月を要していた解析と評価が2週間以内で可能になった。これまでの技術 [P (Precise: 精密)-MLAS] では、部材表面から採取したレプリカ及び抽出レプリカを研究所において専門家が、光学顕微鏡 (300倍) で検査箇所の絞り込み、走査型顕微鏡 (500倍) でボイド個数密度測定、透過型電子顕微鏡 (5000倍) で析出物分布の評価、解析を順次行っていた。

以下にAuto-MLASの概要を示す (図4)。

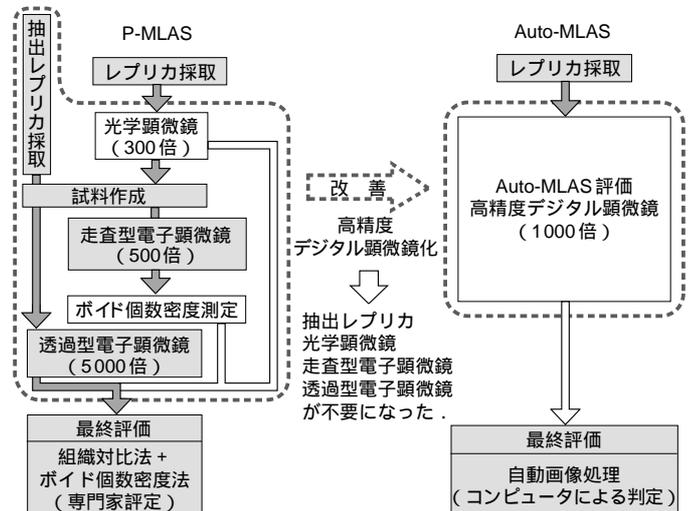


図4 P-MLASとAuto-MLASの比較

(1) 顕微鏡組織画像の定量化

低合金鋼でクリープ損傷が問題となる溶接部では、寿命の前半で金属組織的な変化が生じる。

この変化は、顕微鏡で観察すると劣化と共にラス（笹の葉状の微細組織）の境界が途切れ途切れになったように観察される。そこで、Auto-MLASでは健全なラスと劣化したラスを画像処理で自動的に区分し、健全なラスの残存割合から主に寿命前半の損傷度を評価する。

(2) ボイドの定量化

寿命前半では金属組織的な劣化が生じるのに対して、寿命後半ではボイド（結晶の境界に生成する微小な空洞）の生成数の増加と合体によるき裂の成長といった物理的な損傷が進行する。Auto-MLASでは画像処理にて自動判別したボイドの個数からボイド個数密度を算出して、寿命後半の損傷度を評価する。

(3) Auto-MLASによる寿命評価

図5にAuto-MLASの評価線図を示す。寿命前半では、

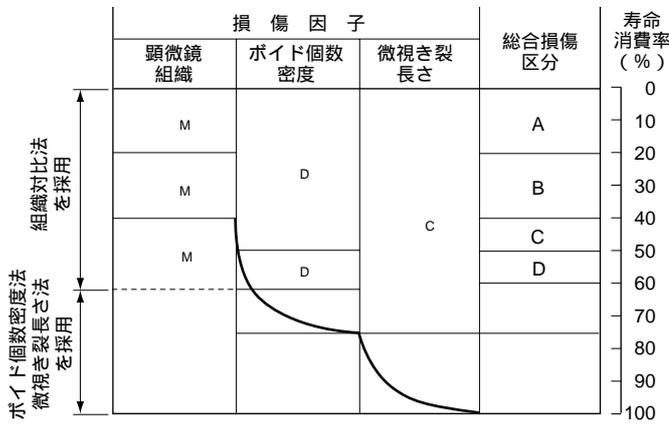


図5 Auto-MLASの評価線図

健全なラスの残存面積率に基づき3段階にランク分けし、ポイド生成状況に基づき2段階にランク分けして損傷の進行程度を評価する。

寿命後半は、微視き裂が発生するまではポイド個数密度により、また微視き裂発生後は最大き裂長さ計測結果から寿命を評価する。これらの評価システムがコンピュータにソフトウェアとしてインストールされており、組織観察後短時間で寿命評価が行え、Auto-MLASは従来のP-MLASと同等の精度を有することが確認されている。

なお、Auto-MLASによる表面損傷検査結果と不純物分析結果、亀裂伝播解析などの技術を統合した総合的余寿命診断技術には、Auto-MLASを始め当社が開発した特許が多く使われており、この技術は世界のトップクラスといえる(図6)。

3.2 PAM (Plant Asset Management)

ボイラ及び蒸気タービン設備における構成部品の重要度と設備運用計画に基づいて、部品の検査や保守計画を経済的に最適化するPAM(保守戦略システム)を開発した。以下に本システムの概要を述べる。

(1) システム概要

本システムは、種々の部品について、経年劣化により運転が継続できなくなるリスクの推移を予測し、種々の保守方案(部品の取替え、補修や検査)の中から最も経済価値が高い保守戦略(最適保守方法とその最適実施時期)を立案することが可能である。

本システムのデータフローを、図7に示す。まず全部品に対し、“定性的PAM手法”を適用し、その結果リスクが高く対策の必要性が高い部品と、リスクが低く当面对策の必要性が低い部品とを選別する。このうちリスクが高いと予想された部品については、“定量的PAM手法”を適用し、

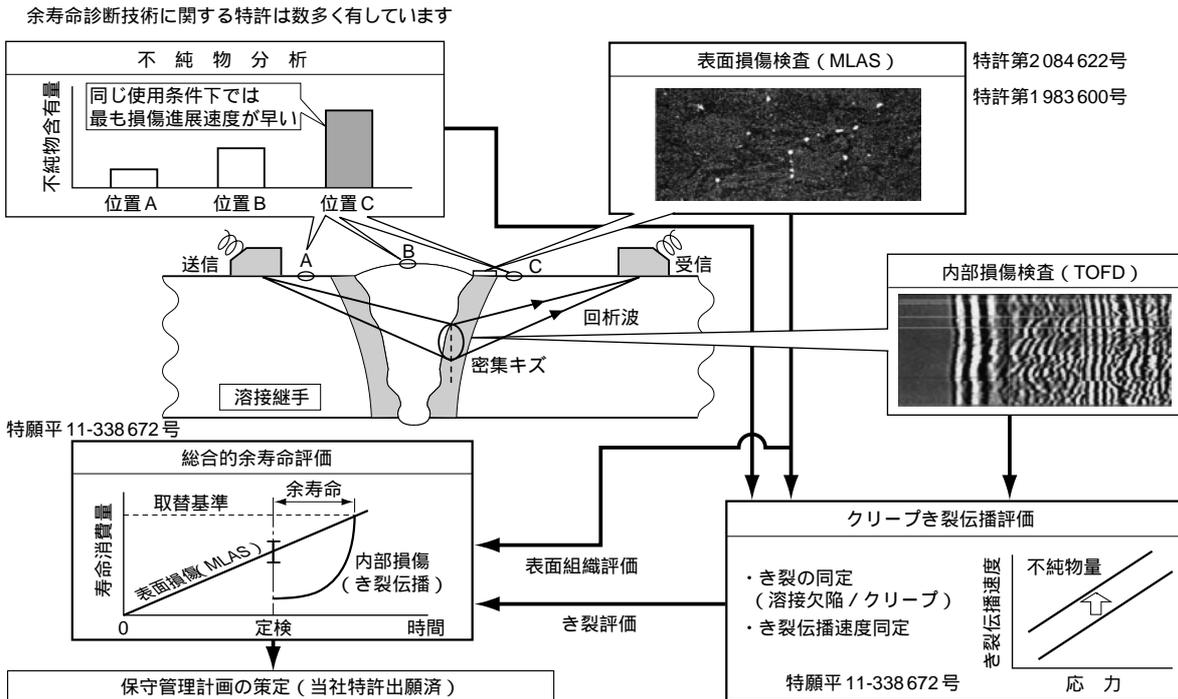


図6 余寿命診断技術

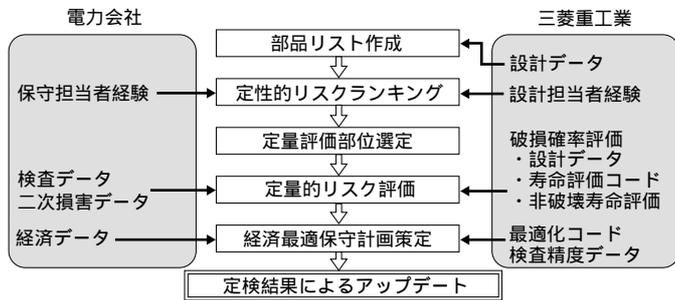


図7 プラント保守戦略最適化システム

経済的に最も価値がある保守戦略（最適保守方法とその最適実施時期）を導きだす。なお、この定量的な評価では、設備の重要度、今後の設備運用計画、各種制約条件（予算等）の変更にも対応することが可能である。

(2) 定量的リスク評価

部品のリスクは、その部品がプラントの廃却までに破損する確率と、破損が生じたときの損失額（破損部品の復旧費用と発電停止による発電損失費用等の和）を掛け合わせた値として定義され、破損確率は当社が長年にわたり蓄積してきた寿命評価技術を応用し、材料特性や温度などのばらつきを考慮して求めた。さらに、これまでに検査が実施されている部品については、検査結果によって破損確率の評価精度が向上できる評価コードを開発し適用している。

(3) 保守計画最適化

リスクが高いと評価された部品については、どのような保守をいつ実施すれば最も経済的であるかを、投資プロジェクトの価値評価等に用いられている正味現在価値法によって求めている。本システムでは、考えられる複数の保守方案に対し、最も経済的価値が高い保守方法とその実施時期を最適保守戦略として提案する。

本システムは既に国内火力発電設備で適用されており、今後は適用範囲を広める等の展開が期待される。

3.3 LTSA (Long Term Service Agreement)

近年の電力を取り巻く環境の変化により、アフターサービスに対する要望も多様化しており、代表例として一定期間の保守を一括で請負う長期包括保守契約（LTSA）が挙げられ、海外コンバインドサイクル用ガスタービンを中心に導入が増加しつつある。

GTCC設備を持つIPPを中心に、長期保守契約で発電原価の相当部分を占め、かつ変動の多い、保守費を確定し、経営の見通しを確実にするニーズが存在する。長期保守契約では、稼働率を向上させるため、後述する遠隔支援センターにて専門技師による24時間予兆/傾向監視を実施し、トラブル未然防止と発生時の迅速な対応を図っている。また、必要な部品供給、最適な定検工事を計画・実施し、発電設備全般にわたりサポートしている。

3.4 シミュレータを利用した研修

(1) 技術継承の必要性

今後日本では、電力市場自由化が本格化し、電力を取り巻く環境は、これまで以上に電力会社・参入会社間との競争が激化する一方、電力供給の信頼性も要求されることが

予想される。また、今後5年以内に多くの団塊世代のベテラン技術者が引退するであろう。

これに対し、これまでの日本における技術継承のほとんどはOJT（On the Job Training）に委ねられてきたが、今後は積極的にITを活用した新たな技術継承に取り組むことが必要であろう（図8）。

(2) お客様向け研修

それぞれの事業所で、ボイラ本体、タービンそして制御のお客様向け研修を実施している。また、シミュレータを利用した研修に力を注いでいる。

最近のシミュレータ技術の進展は著しく、20年前には、簡素化したプラントモデルを利用しても数分間のシミュレーションに数時間を要していた計算時間が、今では精密型プラントモデルのシミュレーションをリアルタイムを上回るスピードで処理できる。

現在では、プラント静特性と動特性を精密に模擬したシミュレータを利用した研修を行うことで、定量的な操作量まで把握できるようになった。具体的には、1%の燃料変化によって影響を受ける各部位の温度変化量を検証することができる（図9）。

また、さらに研修効果を上げるために、エンタルピ等の熱力学問題集を多く盛り込んだCAI（Computer Aided Instruction）とシミュレータを組み合わせた研修も行っている。このCAIは火力発電設備に従事する上級レベルの保守員及び発電員向けで、設計の心を理解し、適確な状況判断と臨機応変な対応ができる知識の習得を目的に開発した。

4. ITを活用した技術

ここではITを活用した遠隔監視支援センターを紹介する。

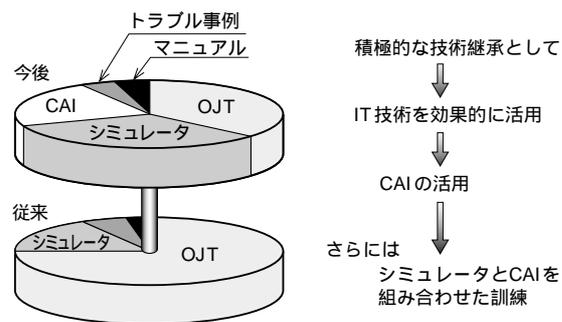


図8 積極的な技術継承



図9 最近のシミュレータ

当社の原動機製品は、長崎造船所、神戸造船所、横浜製作所、高砂製作所でそれぞれの機器を製作しているため、それぞれの事業所に遠隔監視支援センターを設けている。

4.1 遠隔支援センター

最近急速に進展しているインターネットを始めとするIT技術を利用して、お客様に納めた設備の監視・保守支援を、次の4事業所の遠隔監視センターで行っており、いずれのセンターもセキュリティ面に重点を置いたシステムを構築している。

(1) 長崎造船所“遠隔運転・保守支援センター”

当センターは、国内外に納入した発電設備の稼働状況を、専用回線やインターネット等のネットワークを経由して集中的に監視し、さらに支援メニューによるサービスを提供する目的で設立した。

また、Webによるリアルタイム監視、データ収集、異常の事前検知及び復旧支援サービス、ボイラ保全を目的とした定検時の保守データ管理などのサービスを提供している。

(2) 高砂製作所“遠隔監視センター”

当センターは、ガスタービンを中心としたコンバインドサイクル発電設備の運転状況を常に把握しながら、最適メンテナンス情報の提供、発電設備運用上の技術サポート(高温部品の劣化損傷、燃焼振動、高度な事象診断等)、またトラブルの防止、トラブル発生時の復旧支援を迅速に行っている。

一般的に経験と知識が必要とされる、多種多様な事象、継続的な運転傾向管理については、統計解析により機械それぞれの“くせ”を見極め、“いつもと違う挙動”を察知できるよう偏差監視に重点をおいたシステムとなっている。

また、平素から運転状況の把握とそれに基づく分析を行い、先手先手の対応・水平展開施策の決定を行い、世界中のサービス部隊との情報共有による迅速な行動を行うサポート体制をとっている。

平成14年3月に設立した米国MPS-RMC(Mitsubishi Power Systems, Remote Monitoring Center)とは、IP-VAN回線で常時接続して情報の流れを確立し、二極連携したサービスでお客様の電力安定供給に寄与している(図10)。

(3) 横浜製作所“お客様運転支援センター”

当センターの前身として、平成12年、万一のトラブル時に当社の技術担当者にEメールにて自動通報する“遠隔運転支援システム”を開発し、新潟県及び山形県のディーゼル発電所と横浜製作所を結んだ運用を開始した。

平成14年12月に“お客様運転支援センター”を開設し、横浜製作所が納入する発電用ガス機関、ディーゼル機関全機にサービス対応できるように同システムを拡張し、運転状況に応じたお客様の技術相談にもこたえる体制を整えた。

また、ガス機関の燃焼状態を判定する“燃焼診断装置(特許出願中)”と“遠隔運転支援システム”を組み合わせることにより、 μ secオーダーで変化するシリンダ内圧力の監視データによる迅速な故障診断を、“お客様支援センタ

発電所運用にかかわるトラブルの事前予防診断、万一発生時の迅速な対応などのエンジニアリング活動をリアルタイムにサポートするサービスを提供しています

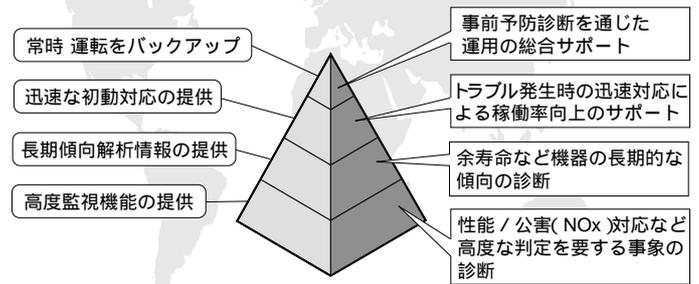


図10 総合エンジニアリングサポートサービス



図11 横浜製作所お客様運転支援センター

”で実施している(図11)。

5. その他の技術

また、お客様へのサービスの一貫として、発電設備に関する新技術を提供することにも努めている。ここでは、ボイラ、タービン、ディーゼルエンジンに関するその他の技術について紹介する。

5.1 ボイラ

(1) 最近の新技術としては、各種燃料の燃焼技術(オリマルジョン、低品位炭、残渣油、RPF、PDFなど)、NOx低減技術(予混合燃焼、炉内脱硝、石炭超微粉ミル)、また、CO₂削減技術(バイオマス、廃棄物燃焼)等がある。

(2) 電力市場自由化に伴う発電コスト削減の流れから高い稼働率を確保するため、設備の信頼性が今迄以上に求められる。これに対応すべく、精度の高い検査技術開発に力を注いでいる。

寿命評価・欠陥検出技術としては、3.1項で述べた“Auto-MLAS法”の他に、“TOFD法”“Phased-Array UT法”“粒界破壊抵抗分布モデルによる溶接部クリープ損傷評価法”“ヘリカルスキップUT法”などがある。これら個々の技術開発を組み合わせた総合的な管理システムとしてボイラの保守履歴などを管理する“ボイラ保全管理システム”などを開発・実用化している。

さらに、設備寿命の延命に着眼した技術として、“触媒再生技術”“配管溶接部のクリープ損傷再生技術”などがある。

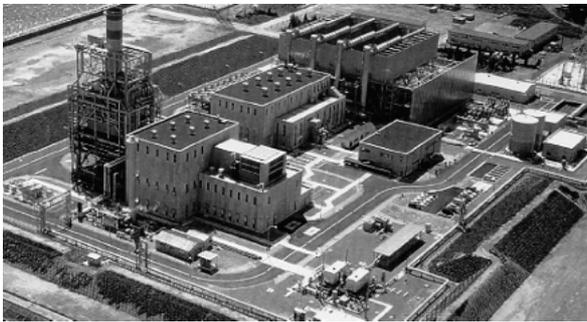


図12 T地点

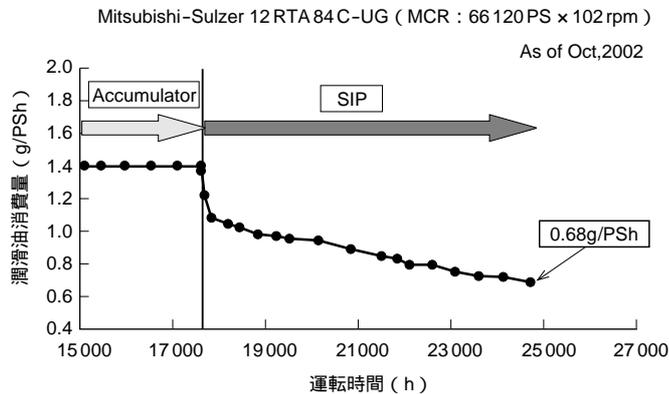


図14 シリンダ潤滑油消費量グラフ

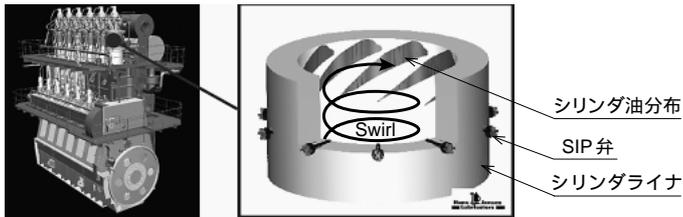


図13 三菱SIPシリンダ注油システム

5.2 タービン

(1) 代表的な要素技術としては、ガスタービンの燃焼器、動静翼冷却技術、TBC (Thermal Barrier Coating) 技術や蒸気タービンの高性能完全三次元翼、ISB (Integral Shroud Blade) 最終翼等が挙げられる。これらの技術開発は、実圧燃焼試験設備や実負荷試験設備により十分な検証が行われた後、高砂製作所内T地点ガスタービン複合サイクル発電プラント実証設備の実運転により長期間の信頼性確認が行われている (図12)。

このように、検証した最新鋭の技術を既設機にも適用することにより、お客様の経済性、信頼性向上への要求にこたえている。

5.3 ディーゼルエンジン

(1) 神戸造船所では、世界最大のデンマーク船主 A. P. Moller 社、Hans Jensen Lubricators 社と協業を進め、SIP (SIP : Swirl Injection Principle) シリンダ注油システムの日本国内における独占販売・製造権を獲得した。

三菱SIPシリンダ注油システムは、シリンダ内の空気流れ (Swirl) を利用し、シリンダ油を高圧・高噴射率でシリンダライナ内壁へ直接ジェット噴霧することにより、従来に比べ大幅なシリンダ潤滑油消費量の低減とシリンダライナ・ピストンリングの摩耗を最小限にすることが同時に可能となる、画期的な注油システムである (図13)。

当社製就航船にSIPシステムを適用した結果、シリンダ潤滑油消費量が50%以上減少した実績も報告されている (図14)。

また、シリンダ潤滑油消費量が減少することにより、PM (パーティキュレート) エミッション低減が実現できるため、環境にやさしい機関を実現できる。

当社は独自開発の駆動システムと合わせ、SIPをトータルシステムとして実現させ、お客様の大切な船の経費削減と安全運航、環境保全に努めている。

(2) DOCTOR DIESEL

またITをフル活用して、船用エンジンの状態を衛星通信により居ながらにして遠隔診断する“DOCTOR DIESEL”を開発した。

“DOCTOR DIESEL”は全世界で運航しているエンジンの回転数、排気ガス温度等、約40種類の性能データ及び部品点検時の計測データをインマルサット通信衛星及びインターネットを介して、当所に設置したサーバに取り込み、自動的にエンジンの調子を診断し、その結果を瞬時に返信することができる。

6.ま と め

今後は、電力市場動向や環境問題を踏まえ、火力発電設備におけるボイラ、タービン、制御、また、ディーゼルエンジン全般に携わる総合メーカーとしての利をいかしながら、一層の技術革新につとめ、お客様に満足いただけるトータルサービスの提供に努力してゆく所存である。



黒石卓司
原動機事業本部
火力プロジェクト部
火力サービス統括グループ主席



南芳弘
原動機事業本部
タービン技術部
タービンサービス技術課長



小林由則
原動機事業本部
ボイラ技術部
ボイラ開発・サービス技術課長



横山知充
長崎造船所
火力プラント設計部
主幹



長谷川佳昭
神戸造船所
ディーゼル部
サービス技術課主席



景山修
横浜製作所
原動機営業部主席



湊本倫生
高砂製作所
サービス部
技術グループ長