

火力発電プラント予防保全の新技術

Recent Technology for Preventive Maintenance of Thermal Power Plant

我が国の発電の主力を担う火力発電プラントは、運転開始後10年以上経過したユニットが増えており、かつ最近の電力需給事情による中間負荷運用の必要性から、従来にも増したきめ細かな保守管理が必要となっている。

日立製作所では、早くから火力発電プラントの長期安定運転のための予防保全技術の開発を積極的に推進しているが、本稿では、これらのうち最近の技術の一端について紹介する。

タービンでは、電気抵抗の変化により、発電機では、発電機特性と運転履歴から、非破壊で設備寿命の予測が可能となった。また、ボイラでは、光ファイバ利用のフレームデテクタにより燃焼状態を的確に把握でき、既設設備の信頼性を更に向上させることが可能となった。

菅野繁美* Shigeyoshi Kanno
 吉原茂夫** Shigeo Yoshihara
 竹下豊男*** Toyoo Takeshita
 谷口正俊*** Masatoshi Taniguchi
 菅野 彰**** Akira Sugano

1 緒 言

我が国の火力発電プラントは、技術の進歩とあいまって着実に発展してきた。昭和30年代から急増し、ユーザーの綿密な保守管理により安定運用され、現在我が国発電の主力を担っている。

これらのプラントは、建設後10年以上経過したものが全体の出力で約60%、基数で約80%となり老朽化が進むとともに、最近の電力需給事情などによる中間負荷運用及びピーク負荷運用の必要性から運転条件過酷化の傾向にあり、従来にも増して信頼性の向上が望まれる。

日立製作所では、従来より事故未然防止の観点から予防保全技術の確立、効率向上などの機能改善について積極的に取り組んできた。表1に、これらの目的に応じた設備改善の一例を示すが、これらのうち既設設備の信頼性向上の最近の技術について以下に紹介する。

2 ボイラ設備の信頼性向上技術

ボイラ設備の信頼性向上技術としては、ボイラ耐圧部をはじめとする主要機器から、各種配管系、通風系、燃焼設備など多岐にわたる項目が挙げられるが、ここでは、新技術として完成あるいは完成に近い技術の中から次の3項目を紹介する。

- (1) ボイラ熱応力監視装置
- (2) 多視野形火炎検出装置
- (3) バルブモニタリング装置

2.1 ボイラ熱応力監視装置

中間負荷運用の場合、熱応力の観点から最も問題となるのは厚肉部である。具体的には、最終過熱器出口管寄せの特に主蒸気管用ノズルや伝熱管スタブの内面コーナ部がその代表であり、このほかベンソンボイラでの汽水分離器、再熱器出口管寄せのノズル内面コーナ部などがある。これらの部位は、中間負荷運用に伴い、大幅な温度変化を伴う高温高压の内部流

表1 既設設備の改善項目と各種監視装置 既設プラントの予防保全、省エネルギーに関して日立製作所が提案している改善項目の一例を示すが、一部は既に実用機に適用されている。

	耐 力 向 上	設 備 診 断 ・ 監 視	運 用 性 向 上	効 率 向 上 , 省 エ ネ ル ギ ー
ボ イ ラ	<ul style="list-style-type: none"> ● 高温腐食対策 ● 再熱器孔食対策 ● SUSスケール対策 ● 耐圧部溶接構造改善 	<ul style="list-style-type: none"> ● 熱応力監視装置 ● 燃焼診断装置 ● 多視野形フレームデテクタ 	<ul style="list-style-type: none"> ● 中間負荷対応 ● 点火トーチのガス化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 定圧ボイラの変圧化 ● 伝面調整によるスプレー量低減 ● ファンの流体継手化
ター ビ ン	<ul style="list-style-type: none"> ● 主蒸気止め弁の鍛造弁化 ● エロージョン防止ノズル翼 ● ケーシング高靱性化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 寿命診断装置 ● 軸振動解析装置 ● 主弁弁棒振動診断装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● ロータデスク付け根R加工 ● 蒸気シール化 	<ul style="list-style-type: none"> ● タービン翼改造 ● 加減弁4アドミッション化 ● 循環水ポンプ可動翼化
発 電 機	<ul style="list-style-type: none"> ● 固定子コイル更新 ● 界磁コイル更新 	<ul style="list-style-type: none"> ● 水素漏えい監視装置 ● コレクタリングモニタ ● 微粒子モニタ ● コイル絶縁診断装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● 耐ヒートサイクル絶縁 	<ul style="list-style-type: none"> ● 鉄心の更新 ● 電機子コイル巻替え ● リティニング非磁性化
制 御 装 置	<ul style="list-style-type: none"> ● 制御弁リプレース 	<ul style="list-style-type: none"> ● 故障解析記録装置 	<ul style="list-style-type: none"> ● APC, ABCデジタル化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 静止形AVR化

注：略語説明 APC(Automatic Plant Control)
 ABC(Automatic Boiler Control)
 AVR(Automatic Voltage Regulator)

* 日立製作所電力事業部 ** バブコック日立株式会社呉工場 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所大みか工場

体にさらされるため、内圧及び熱応力によるクリープ損傷と疲労損傷を総合した寿命管理が不可欠となってきた。

日立製作所では、制御用マイクロコンピュータHIDIC 08-Lを適用したボイラ熱応力監視装置を開発し、昭和58年から実缶にも適用している。

本装置の内容は既に紹介されているので詳細は略すが、監視点メタル温度及び内部流体のプロセス入力信号を用いて、熱応力、内圧応力とその合計応力、及び疲労寿命消費、クリープ破断寿命消費とその合計寿命消費を所定周期で演算し、1サイクル当たり、負荷変化当たり及び累積の寿命消費を計算する。熱応力やメタル温度が規定値を超えた場合には、警報を出し、項目表示する。

本装置の応用例として、プロセス入力信号を基にその後の蒸気温度を予測して対応する熱応力を求め、寿命消費を有効活用して許容最大昇温率での起動を可能にするなど、信頼性を確保しながら機動性も損なわない起動制御も実現できる。

2.2 多視野形火炎検出装置(ME形フレームデテクタ)

ボイラの大容量化に伴うバーナ本数の増加、中間負荷運用に伴うバーナ点・消火頻度の増加、低NOx燃焼の採用及び燃料の多様化に伴う燃焼挙動の変化などにより、火炎検出装置の使用条件は過酷になり、かつ高信頼性が要求されている。

日立製作所では、特に多種燃料に対応可能で高信頼性をもつ多視野形火炎検出装置(図1参照)を開発し、既に実缶によ

る実証試験を積み重ねてきた。本装置は、光ファイバを用いバーナ火炎方向に三つの視野をもたせたもので、その主な特徴としては、(1)多視野監視による信頼性の飛躍的向上、(2)デュアル(可視近赤外域及び赤外域)センサにより多種燃料に対し単一デテクタで対応可能、(3)学習機能による各種運転状態に対応した設定値の自動設定が可能、(4)バーナ燃焼状態監視機能の付加も可能、などが挙げられる。

炉内に挿入されるデテクタヘッドは、図2に示すようにステンレス製本体に被覆不付きガラスファイバを埋め込むことにより耐熱性を向上させ、更にセラミックス製カバーにより遮熱し、少量の冷却空気でも十分な冷却と汚れ防止が図られている。

火炎からの光は、ヘッドのガラスファイバからデュアル光センサまで光ファイバケーブルにより伝達される。デュアル光センサは、SiとPbSをサンドイッチ構造にした特殊なセンサである。

フレームデテクタアンプには、16ビットマイクロコンピュータを採用し、大容量の記録メモリと合わせ、各種燃焼状態を学習させることにより、最適設定値を自動的に決定できる機能をもっている。このアンプは、個々のデテクタに対応するコントローラと、各コントローラ間の情報伝達を制御する通信ボードとで構成されている。通信ボードには、GP-IBが用意されているので、外部にホストコンピュータを設置することにより、バーナ火炎に関する時間領域、周波数領域の経時的データを記録することができ、バーナ燃焼状態の監視に役立たせるとともに、バーナの保守・改善などに利用するなど多方面の応用が考えられ、現在、フィールドテストを実施中である。

2.3 バルブモニタリング装置

制御弁などの弁シート部のエロージョンによる漏れを早期に検知し、エロージョンが小さいうちに対処すれば、補修が容易であるうえ系内蒸気などの熱的損失も最小限に抑えることができる。日立製作所では、原子力機器に既に採用されているLPMS(Loose Parts Monitoring System)の原理を応用し、音響的に弁シート部の状況を監視する装置(図3参照)を開発した。

この検知装置は、圧電セラミックスを使用した加速度センサを弁本体の適切な位置に取り付け(弁本体の加工は不要)、流体が弁シート部を通過する際に発生するフローノイズを連続的に直接監視し、異常状態を警報で表示する。エロージョン状態とフローノイズの相関関係をあらかじめ把握しておけば、軽症の内に週末停止をとるなどして補修が可能となる。

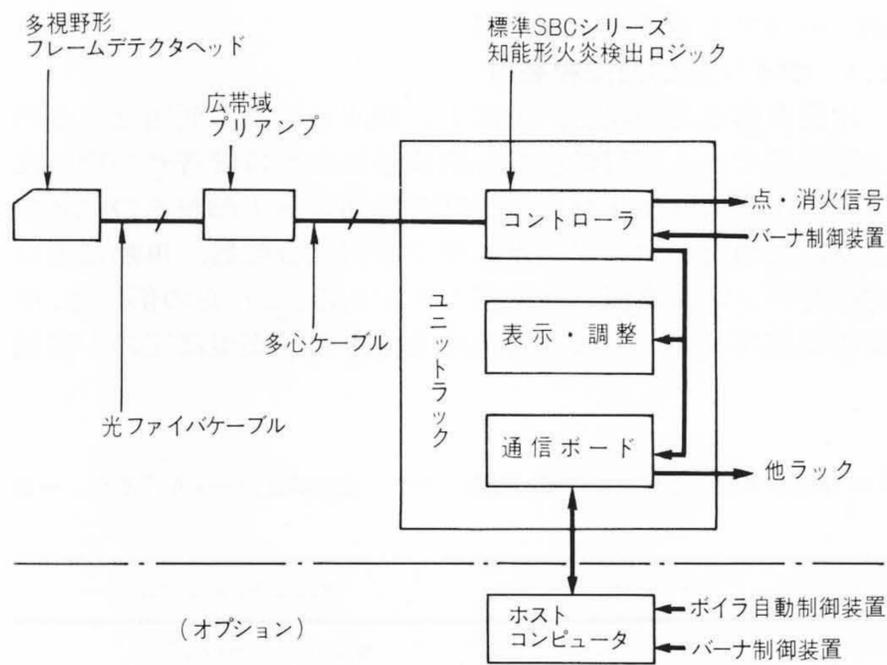


図1 ME形フレームデテクタの製品構成 ME形フレームデテクタを構成する主要機器と相互の接続を示す全体概念図である。

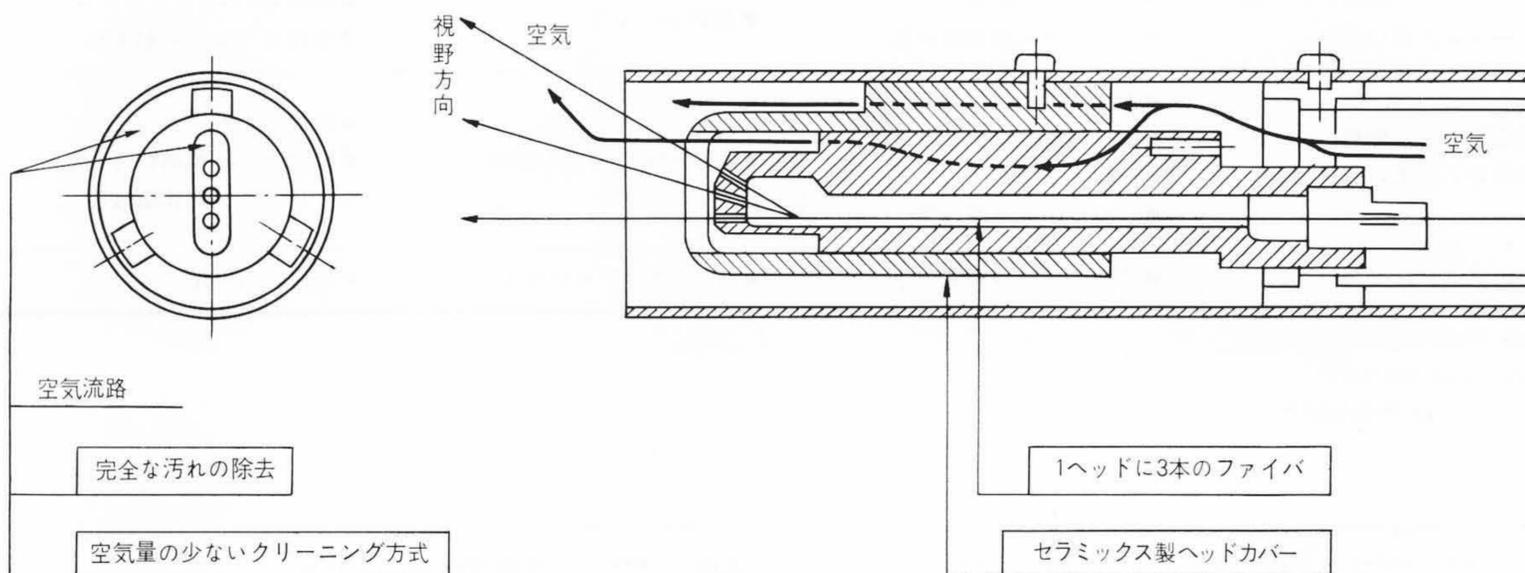


図2 多視野形フレームデテクタヘッド概念図 ME形フレームデテクタの一つの特徴である多視野形フレームデテクタヘッドの内部構成と、冷却空気の流れパターンを模式的に示したものである。

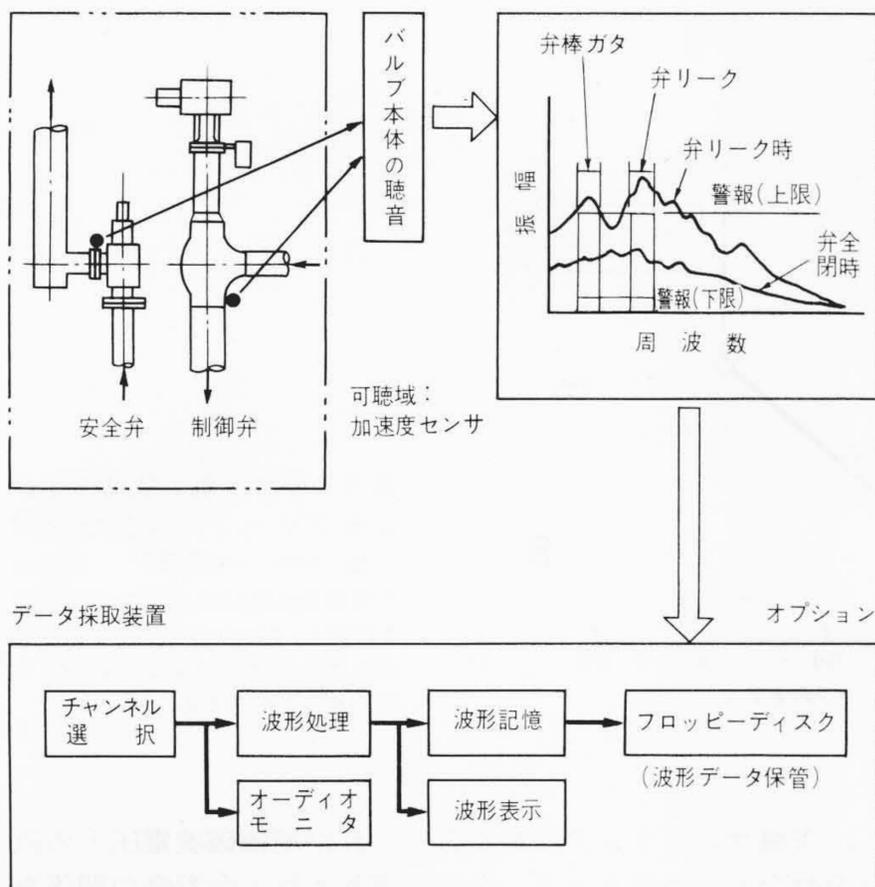


図3 バルブモニタリング装置構成図 バルブモニタリング装置の構成と動作原理を、系統的に示したものである。

3 タービン設備の寿命診断技術

火力発電用タービン設備の主要部材は、高温・高圧下で長時間使用されるので、一般に10万時間高温強度を基準に設計・製作されている。実機では定常運転時の作用応力に加えて起動・停止及び負荷変動による繰り返し応力が発生する。そのため、長期間運転機ではクリープ損傷、疲労損傷の蓄積による材料組織の劣化が進み、クリープ強度、疲労強度の低下や靱性の低下による割れ発生などが心配される。

一方、国内の日立製作所納入機(出力75MW以上)の半数以上に当たる四十数台は既に10万時間以上運転されており、なかには15万時間以上の長期運転機も数台ある。そのうえ、これらの長期運転機は戦後の火力発電設備建設初期の中小容量機であり現在は負荷調整用として頻繁な起動・停止、負荷変動の繰り返し運転が行なわれる傾向にあり、機器の寿命維持にとってますます厳しい状況となっている。

このため、既設火力発電用タービン設備の経年劣化による事故防止、及び寿命維持のための主要部品取替更新時期判定技術、すなわち主要部材の定量的な余寿命評価技術の確立が重要な課題となっている。

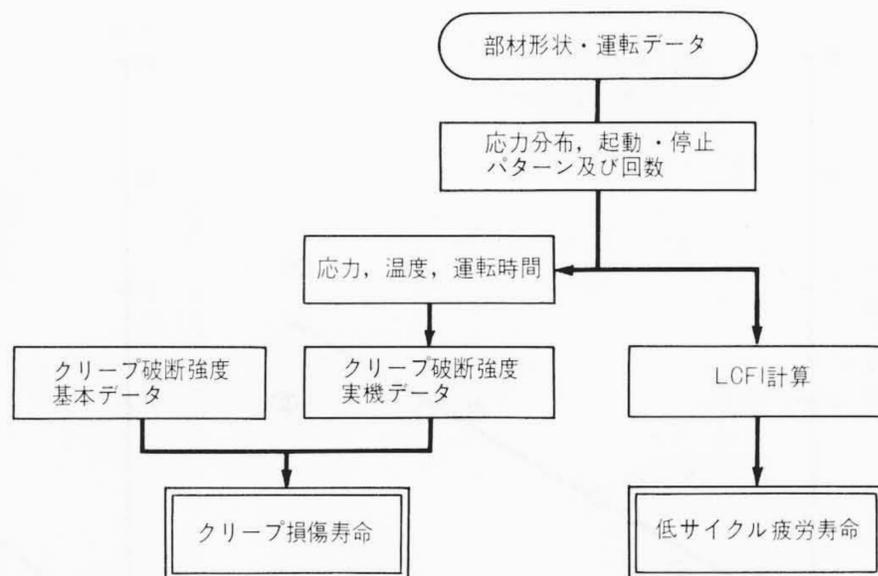
3.1 余寿命評価方法

残余寿命評価の一般的な手法としては、次の方法が考えられる。

(1) 材料強度データと使用条件から解析的に求める方法

この方法は、運転開始から現在までの運転時間及び運転パターンごとの温度・圧力データ、起動・停止回数などの運転データを基に、低サイクル疲労寿命とクリープ損傷寿命の評価を行なうもので、その評価手順を図4に示す。

タービンロータ、車室、主要弁など各部材の定常運転時、及び起動・停止など非定常時の温度、応力分布を実機運転データを用いて有限要素法で求め、起動・停止パターンごとに発生する応力と起動・停止回数から低サイクル疲労寿命を評価する。また、温度、応力及び累積運転時間から求められる



注：略語説明 LCFI(Low Cycle Fatigue Index)

図4 運転データからの解析的余寿命評価の一例 各部材の形状と運転データから、それぞれの部材ごとに温度、応力分布を計算し寿命を評価する。

実機のクリープ破断強度と同一材クリープ破断強度基本データからクリープ損傷寿命評価を行なう。

この方法では、各種部材の実機経年劣化材のクリープ破断強度データが十分に得られていないため、精度の高い寿命予測ができないのが現状である。また、過去の長期間にわたる多量の運転データの整理、応力分布の計算などに多くの時間と費用を必要とするなどの問題もある。

(2) 既使用部材から試験片を採取し、破壊試験を行ない求める方法

この方法では、残余寿命評価の対象となる実機部材から直接試験片を採取し、破壊試験を行なって確認評価する方法と、ユーザーから部品の取替え、改造の際に提供してもらった長時間運転既使用材を用いての破壊試験データを基に、評価対象機の運転時間、起動・停止回数などから残存強度を推定して当該部材の余寿命評価を行なう方法の二つがある。いずれの方法も実機部材から得た試験データを用いるものであり、最も確実な方法である。

しかし、前者では構造上の制約があって、必要な部位から必要な量の試験片を採取することが困難であり、実現不可能に近い。また、後者については日立製作所でもこれまでにユーザーの協力を得て、高・中圧ロータ、高・中圧車室、ノズルボックス、主蒸気止め弁などの既使用材を入手し、破壊試験データの蓄積に努めている²⁾が、余寿命評価を正確に実施するに足るデータを確立するには、まだかなりの期間が必要と思われる。

(3) 非破壊診断により求める方法

部材を破壊することなく、外部からの検査測定によって劣化度を定量的に把握し、残余寿命を評価する技術を確立することは究極的な目標であり、長い間各種研究が進められている。

日立製作所でも所管研究所を中心に電気抵抗法による高温部材の劣化診断技術の研究開発が進められてきたが、最近その有効性が確認され、実用化できる見通しとなった^{3),4)}。

3.2 電気抵抗法による余寿命診断

この方法は、金属材料を高温で長時間使用するとクリープ損傷が蓄積し、結晶粒界への炭化物の凝集、粗大化など材料組織が変化し電気抵抗が低下する現象を応用して、電気抵抗を計測することにより部材の残余寿命を非破壊で定量的に予測するもので、クリープ損傷と材料の電気抵抗変化の関係を

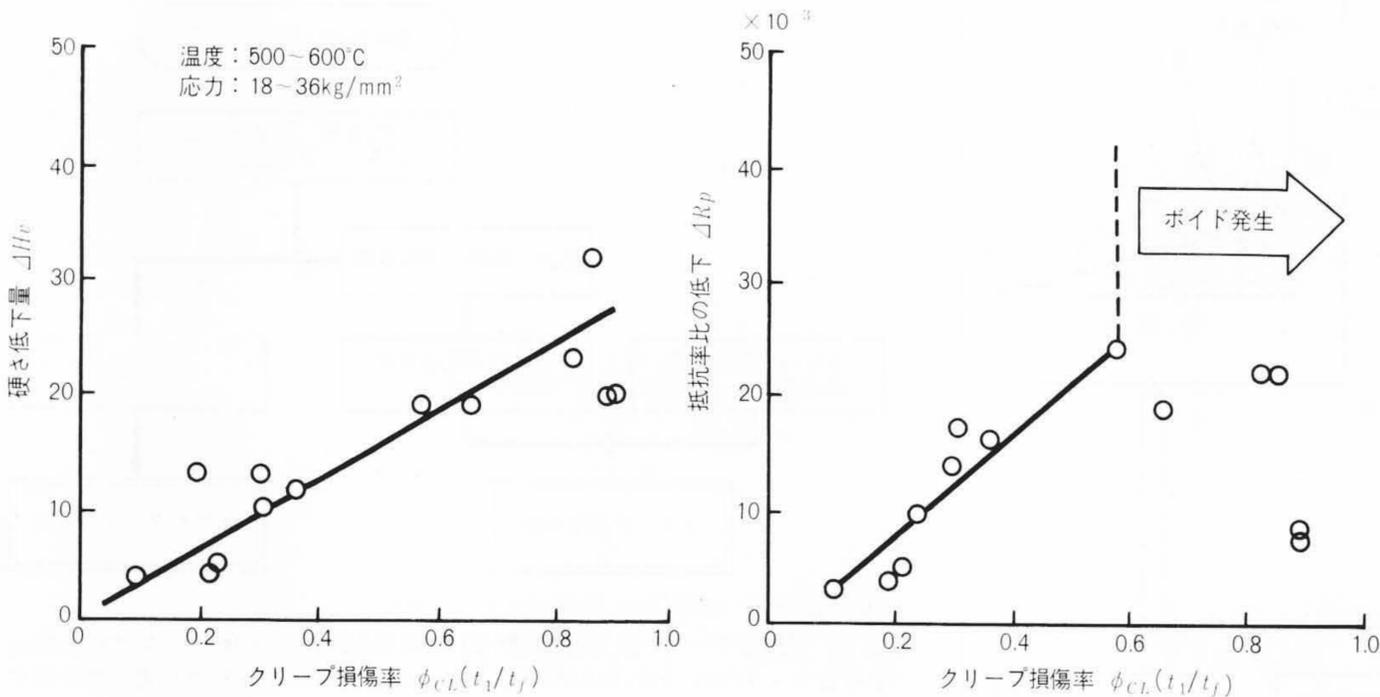


図5 硬さ・電気抵抗率比によるクリープ損傷診断線図(1Cr-1Mo- $\frac{1}{4}$ V鍛鋼) 各部材の電気抵抗率比及び硬さの低下量を実測し、あらかじめ明らかにしているクリープ損傷率との関係から残余寿命を推定する。

あらかじめ明らかにしておき、未使用の材料(基準材)と既使用の材料との電気抵抗の比率の変化から劣化度を判定し、高精度に材料の寿命を評価するものである。

また、電気抵抗法と同様に硬度変化量とクリープ損傷率の関係もあらかじめ明らかにしておき、部材の硬度測定結果と製造時の硬度値からその変化量を求め、余寿命を評価することも同時に行なって、予測精度をより高めることにしている。

図5にCr-Mo-V鍛鋼の硬さ・電気抵抗率比によるクリープ損傷診断線図を示す。残余寿命(時間)を t_2 、運転時間を t_1 、部材のクリープ破断時間を t_f 、クリープ損傷率(t_1/t_f)を ϕ_{CL} とすると次式の関係が成立する。

$$t_2 = t_1 \left(\frac{1}{\phi_{CL}} - 1 \right)$$

電気抵抗及び硬度測定結果からクリープ損傷診断線図を用いて ϕ_{CL} を求め、実機の運転時間 t_1 を本式に代入すれば、残余寿命 t_2 を求めることができる。また、電気抵抗及び硬度の測定は発電所内でも簡単に行なえ、短期間に診断可能である。

なお、当面実機の余寿命診断に当たっては、電気抵抗法に加えて、部材のマイクロ組織検査、走査形電子顕微鏡による炭化物の析出状況、ボイドの発生状況の観察も合わせて行なうことにしており、多くのフィールドテストで実証中である。

4 発電機の寿命診断技術

タービン発電機の大容量化が進められるとともに、運転歴十数年を経過した機械が増加してきており、発電機の各部分の寿命を的確に把握し補修及び交換してゆくことが信頼性運転の確保の面から大切になってきている。ここでは、発電機の心臓部とも言われる固定子コイル絶縁の寿命診断技術と、運転時の異常を早期に検出する予防保全診断装置について説明する。

4.1 高圧コイル絶縁の寿命診断

高圧コイル絶縁の劣化要因としては、電気的な劣化、ヒートサイクルによる劣化、機械的な劣化、熱的な劣化が挙げられる。また、絶縁劣化診断法としては非破壊試験法⁵⁾及び破壊試験法があるが、現在のところ、非破壊試験法では劣化の有無は判断できるが、絶縁劣化診断の終局的な目的である絶縁破壊電圧とは単純な相関性は見られない。そこで日立製作所では、絶縁システムを開発したときの種々の電気的、機械的な過酷試験データを基に、図6に示すような起動・停止回数 N と運転時間 Y から寿命推定を行なう N - Y マップを作成

し、実機サンプリング試験から得られた絶縁破壊電圧との照合を行なうことによって、今後の運転条件と余寿命の関係を明らかにしている。この N - Y マップは、絶縁破壊電圧の平均値と一致することが図7から確認されているが、発電機の信頼性は固定子コイルの最低破壊電圧で決定されるため、この最低値の推定法として一般に用いられている 3σ 法(σ は標準偏差)を適用している。実機サンプリング試験結果から、平均残存破壊電圧 \bar{X} と標準偏差 σ とは相関関係があり、劣化が進むにつれて絶縁破壊電圧値のばらつきは大きくなる傾向にある。標準偏差を考慮した残存破壊電圧の最低値を $\bar{X} - 3\sigma$ で推定した寿命曲線を図8に示す。日立製作所では、この残存破壊電圧の $\bar{X} - 3\sigma$ 値が製作当初の40%を寿命と考え、絶縁更新を推奨している。

4.2 予防保全診断装置

世界的にみたタービン発電機の事故は、発電機の大容量化とともにその内容も変化してきている。

軸材、保持環、ウェッジ、界磁巻線、スリップリングなどの回転子関係、鉄心、固定子巻線、口出端子などの固定子関

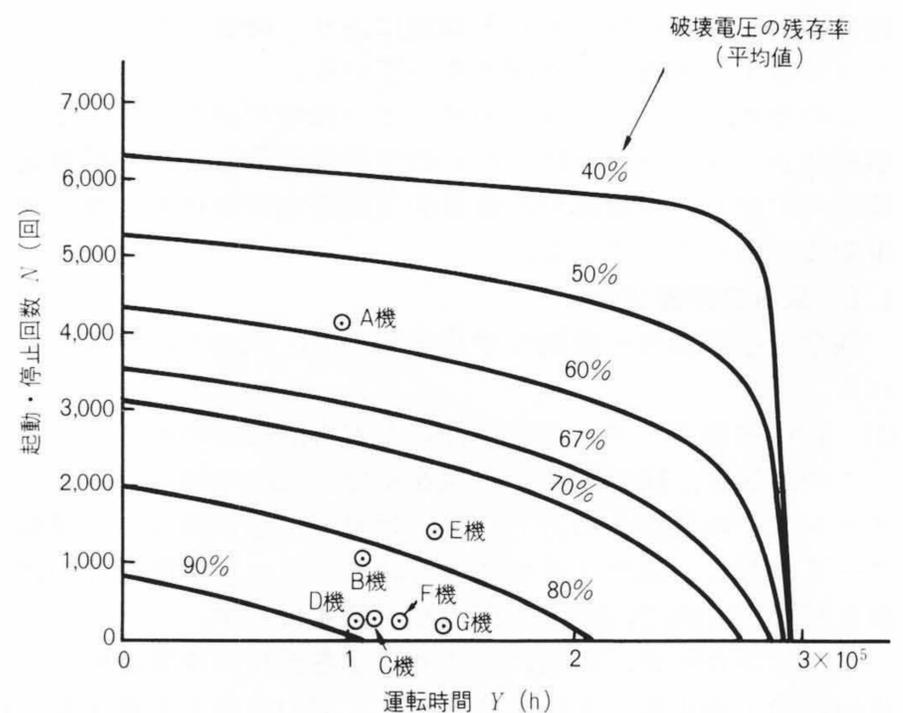


図6 不飽和ポリエステル絶縁寿命曲線(残存破壊電圧平均値) 開発時の絶縁性能試験データから作成した絶縁寿命曲線で、残存破壊電圧の平均値曲線を示す。A~Gはサンプリング試験を行なった発電機の N - Y を示す。

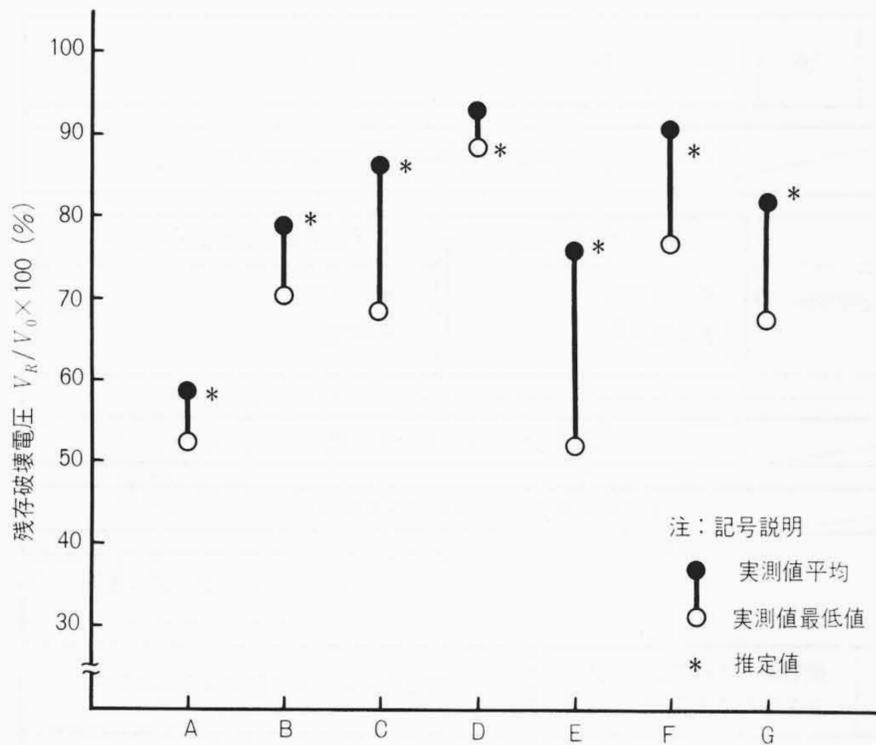


図7 残存破壊電圧の推定値と実測値比較 N-Yマップによる寿命曲線の値を推定値として、実機サンプリング試験による残存破壊電圧値の比較をしたもので、平均値とよく一致している。

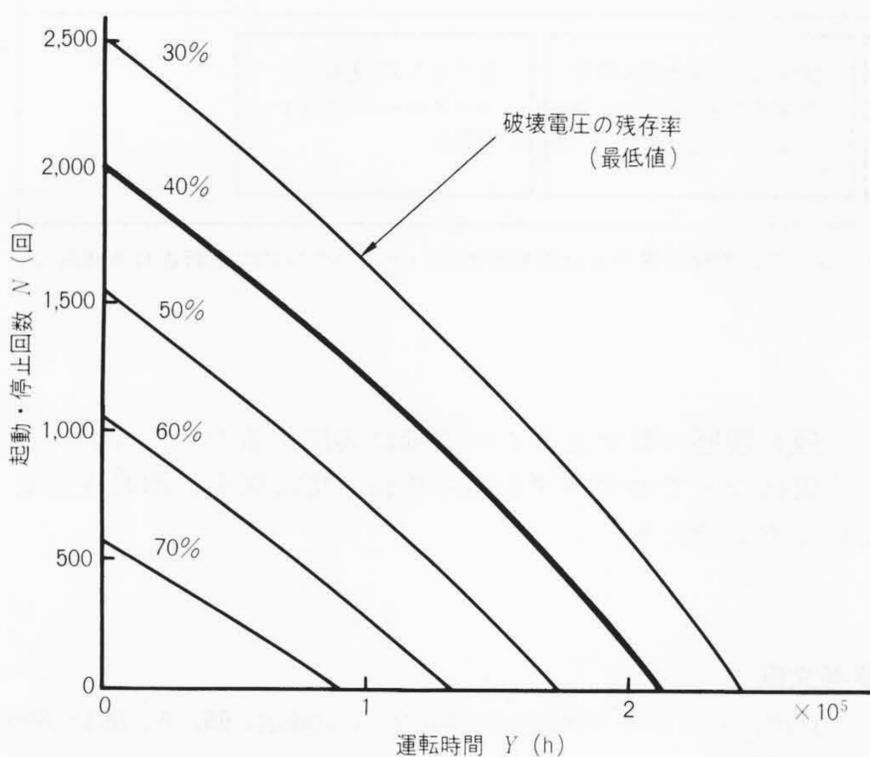


図8 残存破壊電圧最低値寿命曲線 実機サンプリング試験から破壊電圧値の標準偏差を考慮し、 $\bar{X}-3\sigma$ で最低値を求め寿命曲線を作成したもので、この値が40%になる時点をもとに寿命と考える。

表2 発電機用予防保全モニタ 日立製作所で開発した発電機用予防保全モニタで、運転状態を常時監視でき信頼性を確保する上で大いに寄与する。

No.	モニタの種類	機能
1	コレクタリングモニタ	火花の発生を検出する。
2	微粒子モニタ	発電機内部過熱を早期に検出する。
3	水素ガス消費量モニタ	水素ガスの異常漏れを監視する。
4	純水系統漏えいモニタ	固定子水冷却システムの損傷を監視する。
5	レヤーショートモニタ	回転子コイルの層間短絡を監視する。
6	コイル絶縁診断装置	運転中のコイルを監視する。
7	ラッピングモニタ	回転子と静止部の接触を監視する。
8	軸振動診断システム	軸振動を監視する。
9	軸受診断モニタ	軸受を監視する。

係など、発電機の主要部品すべてに及んでいる。

これらの故障予知の技術は、これまで比較的熟練した技術者の経験や勘によるところがあったが、日立製作所は最新のセンサ技術とエレクトロニクス技術を応用し、発電機を稼動中に診断できる装置⁹⁾として表2に示すような装置を開発し、運転状態を常時監視し、運転履歴を確実にとらえ、早期に保全情報を得ることができるようになった。

今後これらのモニタが、過酷な運転状況のもとで発電機の信頼性を確保する上で大いに寄与するものと考えている。

5 制御装置の信頼性向上技術

発電プラントでは、プラントの大容量化、機能の高度化とともに、自動制御装置はますます大規模化・複雑化の傾向を強め、同装置の故障がプラント運転に及ぼす影響も大きくなってきている。これまでハードウェアの信頼性強化やシステムの保護機能の強化など種々対策を行なっているが、更にプラント運転の信頼性向上を図る上で、自動制御装置の故障診断機能の充実とシステムへの故障波及防護策の強化が重要な課題である。

5.1 信頼性向上技術の変遷

今までに実施されてきた制御システムの信頼性向上技術の変遷について図9に示す。制御システムは、検出部、演算部、操作部から構成されるが、これらの特性をよく把握し、それぞれに適応して信頼性強化を図ってゆく必要がある、その具体的内容などについて以下に説明する。

制御装置の信頼性向上を図るには、ハードウェア及びソフトウェアの両面から検討してゆく必要がある。

ソフトウェア面では、制御用コンピュータの高信頼化とコストパフォーマンスの向上とあいまって、計算機技術を導入し、プラント予防保全に活用されるようになった。例えば、大規模アナログ制御装置の故障診断システムがこれに該当する。本システムは、制御装置と同じ制御機能をモデル化して計算機に内蔵させ、モデル照合法などにより制御装置の変調箇所を診断することにより故障のプラントへの波及を防止し、システム全体の信頼性向上を図ったものである。

一方、ハードウェア面では、マイクロコントローラの開発とあいまって、制御装置はデジタル化の一途をたどっている。マイクロコントローラは部品点数が少なく、自己診断機能を持ち、コントローラの冗長化も容易であるなど多くの特長をもっており、従来のアナログ式に比べて信頼性を大幅に向上させることができる。

5.2 デジタル式制御装置の信頼性向上策

デジタル式制御システムの信頼性向上策について以下にその基本方針を述べる。

(1) 耐力あるシステム構成

制御システムを総括してとらえ、限定したハードウェアに集中化することも考えられるが、信頼性の面から必ずしも最適とは言えない。制御装置の分散形態と規模・制御内容と方式などをよく分析評価し、機能及びハードウェアの最適分散化を図ることが重要である。すなわち、制御プロセスに相応してマイクロコントローラを分散配置させ、一部のハードウェア故障がシステム全体に波及しないように構成するとともに、制御機能の重要度に応じてコントローラを二重化するなどの冗長化手法により信頼性の強化を図ることも肝要である。

(2) 故障診断機能の拡充

ボイラ制御システムの故障原因を判別し、その原因に応じて適切な処置を行ないプラントへの故障波及防止を図ること

年 (昭和)	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63		
検 出 端	カ平衡空気式 → カ平衡電子式																	
	カ平衡方式 → 半導体直接変換方式																	
制 御 演 算 部	空気式 → IC式に更新																	
	空気式 → デジタル式に更新																	
操 作 端	トランジスタ式 → IC式に更新																	
	トランジスタ式 → デジタル式に更新																	
検 出 端	検出器二重計装方式採用				使用部品の高信頼化				マイクロコントローラによる検出器の故障診断				半導体センサの開発 ●高信頼化 ●高性能化		デジタル式検出器の開発 ●自己診断 ●高性能化			
	制御装置の国産化		大規模アナログ故障診断システムの開発				マイクロコントローラの開発				簡易形アナログ故障診断システムの開発				IC式 → デジタル式に更新			
操 作 端	●国内環境条件適合ハードウェア開発 ●クロスリミット機能充実				●合理性診断 ●モデル比較による制御装置診断				●自己診断機能充実 ●コントローラ分散化 ●コントローラ相互診断 ●コントローラ多重化				●制御装置の故障解析記録 ●制御ブロック単位診断				総合デジタル分散システムの開発 ●ハードウェアの極小化 ●自律分散 ●リモート診断	
	使用部品の高信頼化				使用部品の高信頼化				操作端位置検出器の開発とマイクロコントローラによる合理性診断				サイリスタ駆動電気式コントロールユニットの開発					

図9 制御システム信頼性向上技術の変遷 マイクロプロセッサの進歩とあいまって、制御システムは信頼性の高いデジタル式に更新される傾向にある。

はシステム運用上極めて重要であり、デジタル技術を駆使することにより対応してゆくことができる。制御システムに故障が発生した場合、当該制御系を自動モードから手動モードに切り替えて操作端を現状位置に保持するなど、故障診断機能と保護機能を適切に活用することによって、信頼性の高いシステムを構築することができる。

以上、制御装置の信頼性向上技術について説明したが、今後は検出器や操作端もデジタル化の傾向を強め、診断範囲が拡大化することにより、システム全体の信頼性も一段と向上してゆくものと考えられる。

6 結 言

今後の火力発電プラントは、運用の多様化を要求されつつ更に長期間運転を継続しなければならず、適切な設備寿命予測に基づく計画的な保守管理による予防保全がますます重要となる。

本稿では、この予防保全に関する新技術の一端を紹介した

が、運転履歴の異なる多くの設備に適用するため、なおいっそう実機などでのデータを積み重ね、更に開発、改良を加えていく考えである。

参考文献

- 1) 宮垣, 外: ボイラ熱応力監視装置, 日立評論, 65, 6, 391~396 (昭58-6)
- 2) 志賀, 外: 高温で長時間使用した蒸気タービンケーシングおよびロータ材の機械的性質, 材料, 第33巻, 366号(昭59-3)
- 3) 桐原, 外: 低合金鋼のクリープ残余寿命予測法の検討, 第19回高温強度シンポジウム発表論文(昭56-12)
- 4) 桐原, 外: 火力タービン材料の劣化診断技術の開発, 火力原子力発電, Vol. 35, No. 9(昭59-9)
- 5) 門谷, 外: 高圧回転機コイルの絶縁診断と寿命予知, 日立評論, 63, 3, 191~196(昭56-3)
- 6) 実松, 外: 最近における大容量タービン発電機の新技术, 日立評論, 62, 4, 267~272(昭55-4)