

# 改良保全計画へのリスクベース メンテナンスの適用

Maintenance Planning Applying Risk-Based Maintenance

秋国 康成

■ AKIKUNI Yasunari

藤山 一成

■ FUJIYAMA Kazunari

近年、電力各社では電気事業法改正による電力自由化に伴い、電気料金の引下げに取り組んでおり、改良保全においても、設備実態の把握による設備保守・更新費削減を図っている。東芝においても、今までの診断技術に加え、コストと信頼性の両面から保守計画を検討するためのシステムを開発しており、その一つとして、最近注目されているリスクベース メンテナンスを活用した保守計画システムの運用を始めた。

Due to the liberalization of the electric power industry with the revision of the Electric Utility Law, electric power companies have been trying to reduce the price of electric power in recent years by cutting down facility maintenance expenses and renewal costs through accurate plant condition assessment.

To support these efforts by electric power companies, we are developing new maintenance planning systems for optimizing costs and reliability in addition to the current diagnostic systems. A practical system is now in service applying risk-based maintenance, which has been recently attracting attention as an effective means of management.

## 1 まえがき

火力発電所設備の保全は、ユニットの運用状況から損傷状態を予測し点検・保守をする時間基準型保全と、損傷が起きてから保守する事後保全とを、部品によって使い分けている。最近では、前者の時間基準型保全でのコスト削減のために、様々な取組みがなされているが、なかでもリスク基準型保全が注目されている。

東芝では、国内蒸気タービンで多年にわたり蓄積してきたフィールドデータベースを用いて、運転中の蒸気タービンに潜在するリスクをコスト期待値として表す新しい評価手法を開発し、点検・保守管理の合理化に役だてている。

## 2 改良保全計画の概要

当社の蒸気タービン設備の保全に関する改良保全計画は、時間基準型保全を主として、定期的な点検を推奨するとともに、高温部品や低圧ロータなどの部品については、損傷の発生メカニズムから運転時間管理を推奨している(図1)。これに加え、プラント寿命での総保守コストを抑えることを目的として、重要機器の最適な取替え時期を決めるライフサイクルコンセプトを用いた更新提案をしている。最近では、電気事業法の改正と保守費の縮小から、点検周期の延長や補修の先延ばしが求められており、リスク評価による優先度をつけた保守計画が必要となってきた。

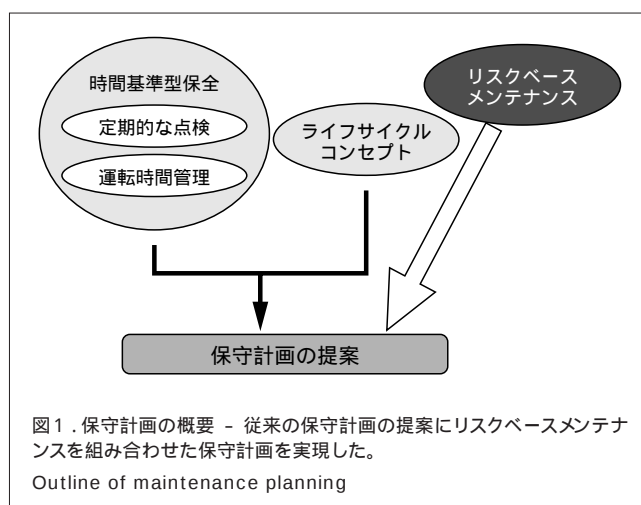


図1 保守計画の概要 - 従来の保守計画の提案にリスクベースメンテナンスを組み合わせた保守計画を実現した。

Outline of maintenance planning

当社では、メーカーの見地から合理的な保守管理を目指して、優先的な補修部品の選定、最適な更新時期の提案を実現するために、フィールドデータを基にしたリスクベースメンテナンスの適用技術を開発し、今までの時間基準型保全とライフサイクルコンセプトを組み合わせた保守計画の実現を行っている。

## 3 リスク評価法

リスクの定義は、特定の危険事象の起きやすさ（故障確率）とその影響度の積であり、影響度を主観的、半定量的なクラ

ス分類によって評価する方法が多く用いられている。それに代わる定量的方法として、故障事象の木(Event Tree)と信頼度関数を組み合わせたリスク評価法を開発した。この評価法は、次の3ステップから構成される。

Step 1 フィールドメンテナンス記録を調査し、故障生起時期及び因果関係の分析から、Event Treeを作成する。

Step 2 故障の起きる確率(不信頼度)を運転時間又は起動停止回数の関数として求め、Event Treeを構成する事象ごとに不信頼度関数を割り付ける。

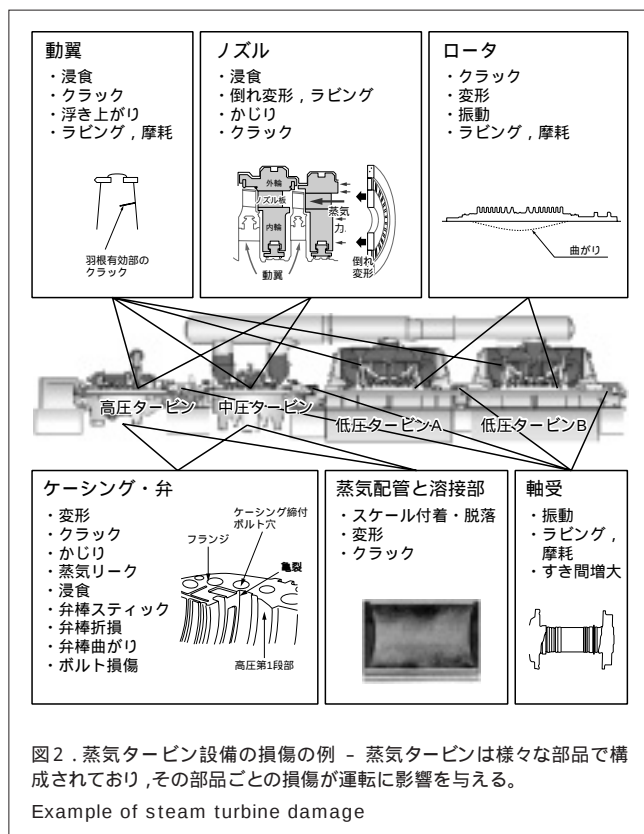
Step 3 Event Treeに沿って不信頼度と復旧コストの積の総和をとり、リスク関数を求め、予防保全コストとの比較から保守管理時期を決める。

## 4 リスクベース メンテナンスシステム

前章で述べたリスク評価法を基に、蒸気タービン向けリスクベース メンテナンスシステムを開発したので、その機能概要について述べる。

### 4.1 蒸気タービン設備の損傷について

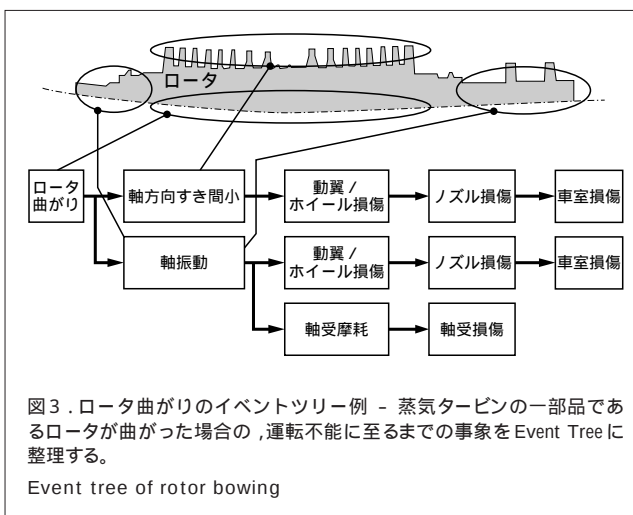
蒸気タービン設備は様々な部品を組み合わせで構成されているため、その部品単体の損傷がいくつかあるとともに、組み合わせた状態での損傷が起こりうる。蒸気タービン各部の主な損傷事象を図2に示す。更に、リスクを考えるうえで



は、単体の損傷が起きた場合の、他の損傷への進展も考える必要がある。

### 4.2 Event Treeの作成

蒸気タービン各部に発生しうる故障事象を、故障が進展していくに従って、その進展を図3に示すようなEvent Treeに整理する。



### 4.3 不信頼度関数の割付け

前節で作成したEvent Treeの各事象について、フィールドデータから不信頼度関数を推定する。不信頼度関数の推定方法の具体的な手順を次に示す。

- (1) 故障時期(運転時間又は起動停止回数など)の若い順にデータを並べる。
- (2) 各時刻における累積ハザード関数を計算する。
- (3) ワイブル型累積ハザード紙に当てはめる。

不信頼度関数の推定は、次式(1)に示す累積ハザード関数 $H(t)$ に基づいている。 $\lambda(t)$ はハザード関数であり、時刻 $t$ における単位時間当たりの故障確率である。

$$H(t) = \int_0^t \lambda(x) dx \quad (1)$$

不信頼度 $F(t)$ と累積ハザード関数 $H(t)$ は式(2)の関係があることから、時間に対する不信頼度を簡単に求めることができる。

$$F(t) = 1 - \exp(-H(t)) \quad (2)$$

蒸気タービン設備についても、時刻 $t$ における故障確率がワイブル分布に従うので、上記手順で蒸気タービン各部の損傷の不信頼度を運転時間基準、起動停止回数基準で解析する。運転時間基準でロータのクリープ破断寿命を解析した例を図4に示す。

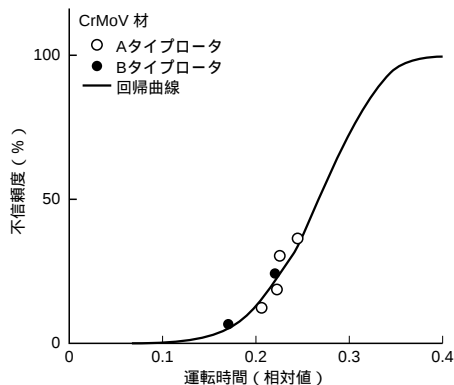


図4.ロータクリープ破断寿命を不信頼度から求めた計算結果の例 -  
ワイブル分布に一致し,不信頼度は時間に対する関数として表せる。  
Example of rotor life until creep rupture calculated from  
unreliability data

#### 4.4 保守管理時期の決定

4.3節で述べた運轉時間基準,起動停止回数基準の解析結果である“不信頼度”と“損傷が起こった場合の復旧コスト”の積をとり,各事象のリスクコストとして時間の関数で表す。これら各事象で求めたリスクコストの和が総リスクコストとなる。一方,原因事象を取り除くための予防保全コストは,横軸を保守周期とおくと施工インターバルの減少関数として表されるので,部品ごとの最適な保守管理時期を決めることが可能となる。

また,総リスクコストと予防保全コストの和を取ることで,保守管理総コストとして表せる。その例を図5に示す。

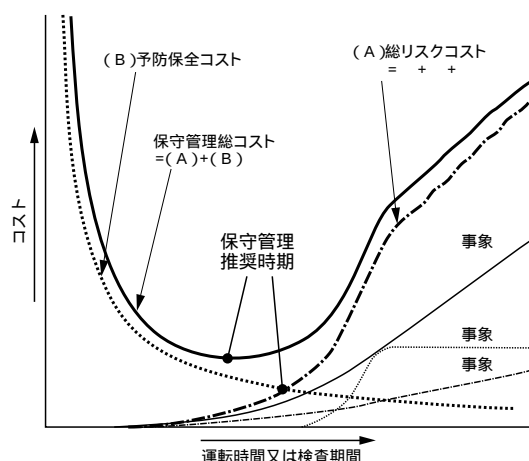


図5.リスクベースメンテナンスを使用し最適保守時期を求めるイメージ  
- 総リスクコストと予防保全コストから保守管理最適時期を求める。  
Image of maintenance planning for optimizing costs and  
reliability

## 5 リスクベース メンテナンス適用による効果

4章で記述したとおり,フィールド故障データを基として機器の持つリスクをコストで表すことにより,時間軸(運轉時間又は検査間隔)に対して保全コストとの関係を表すことができ,時間的にいつ,何をするかという判断を容易にしている。

また,保守管理推奨時期の決定に関しても,蒸気タービンのようないくつかの部品によって構成される機器においては,それぞれの部品の保守管理時期と,機器としての保守管理時期を一つのグラフで表すことができるため,今までの時間基準型管理やライフサイクルコンセプトとの連携を図ることが容易となる。

## 6 あとがき

以上述べたように,フィールド故障データベースを基に,リスクをコストとして定量的に評価し,保守管理時期を判定する新しいリスク評価手法を開発した。このシステムを活用することで,今までの時間基準型保全,ライフサイクルコンセプトとの組合せにより,点検周期の延長や補修の先延ばしの要求に対し,リスク評価を加えた合理的な補修部品の選定,最適な更新時期の提案を実現する。



秋国 康成 AKIKUNI Yasunari

電力システム社 火力・水力事業部 火力改良保全技術部主務。  
火力発電プラントの改良保全業務に従事。  
Thermal Power & Hydroelectric Power Systems & Services Div.



藤山 一成 FUJIYAMA Kazunari, D.Eng.

電力システム社 電力・産業システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部主幹,工博。材料・構造強度技術及び保守管理技術の開発に従事。日本機械学会,日本材料学会会員。

Power and Industrial Systems Research and Development Center