

# 201 長期間使用中における材料・構造・機能の劣化・損傷

電力中央研究所 新田明人

## 1. はじめに

現在、発電プラント等では高経年化が進んでいるが、昨今の規制緩和や自由化によりコスト面での競争が激化しているなかで、経年プラントのより一層の長期運用が余儀なくされている。そのため、経年プラントの長期運用に対し安全性、信頼性ととも経済性が求められることとなり、これまでのきめ細かな予防保全からさらに合理的なメンテナンスが望まれている。

ここでは、火力発電プラントを中心に、その経年化と経年劣化・損傷の状況、メンテナンスの現状と今後の方向性等について述べる。

## 2. わが国の経年火力発電プラントの現状

**2・1 経年化の状況** わが国の火力発電設備は現在のところ電力供給量および電源設備容量ともに全体の過半を占めており、今後も原子力発電とともに主要な電源として重要な供給責務を担うことになる。しかしながら、火力発電設備の約8割は設計上の許容引張応力を介して見込まれる10万時間クリープ破断寿命を超えて運用された経年火力である。また、全体の2割強の設備はさらに長期の20万時間を超える運転を経験している。

**2・2 経年劣化・損傷** ボイラ、蒸気タービンにおける過去の損傷事例を見ると、これらの経年劣化・損傷の主因は疲労（主に低サイクル熱疲労）、クリープ、腐食・浸食と脆化である<sup>1)</sup>。図1<sup>1)</sup>は国に報告された事業用ボイラの事故詳細を整理し原因別に事故発生率の推移をまとめたものであり、上記した経年劣化・損傷の要因を知ることができる。また、同図から、事故発生率が次第に減少する傾向もわかる。これはその都度適切な対策が採られ、それ以降計画的な補修等の予

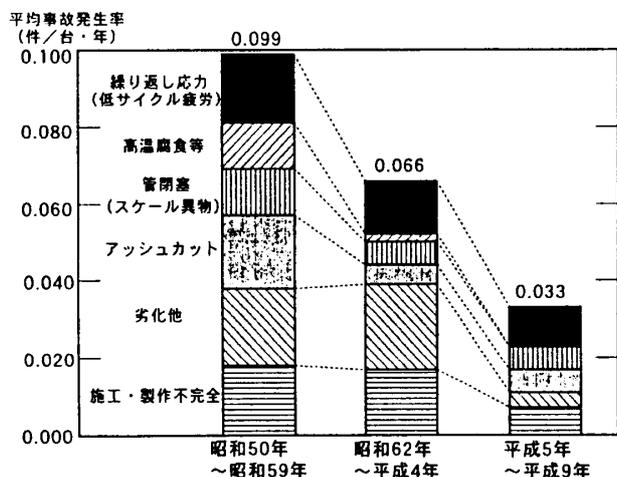


図1 事業ボイラの原因別事故発生率の推移

防保全が為されてきたことによるものである。このような事故発生率の減少は喜ばしいことではあるが、その一方で、事故（トラブル）情報等が適切に継承されなければ、事故（トラブル）対応のための技術力や技術者の空洞化を招くことも否めない。

図2<sup>2)</sup>はボイラ過熱器管として約600℃前後で使用されたSUS321管材の運転時間に伴う機械的性質の変化、ならびに同一ロット材の使用前および12万時間使用後の金属組織を示している。これから、同管材は運転時間とともに金属組織が変化し、硬化・脆化が進行することがうかがえる。しかし、同時に行ったクリープ試験等から、管の使用応力付近では12万時間使用後もクリープ損傷は軽微であることが明らかにされている<sup>2)</sup>。すなわち、異常等のない限り、運転時間が設計で見込まれるクリープ破断寿命の10万時間を多少超えても、材質変化とそれに伴う機械的性質の変化は生じるものの、寿命を支配するクリープ損傷はほとんど問題にならないといえる。これは設計上の許容引張応力に十分な裕度があるためである。しかし、その裕度（余寿命）は個々の設備機器部材で異なることから、的確な余寿命評価により求めざるを得ないが、これまでほとんど究極状態（寿命）までの運用は為されておらず、その状態は十二分に把握されていない。

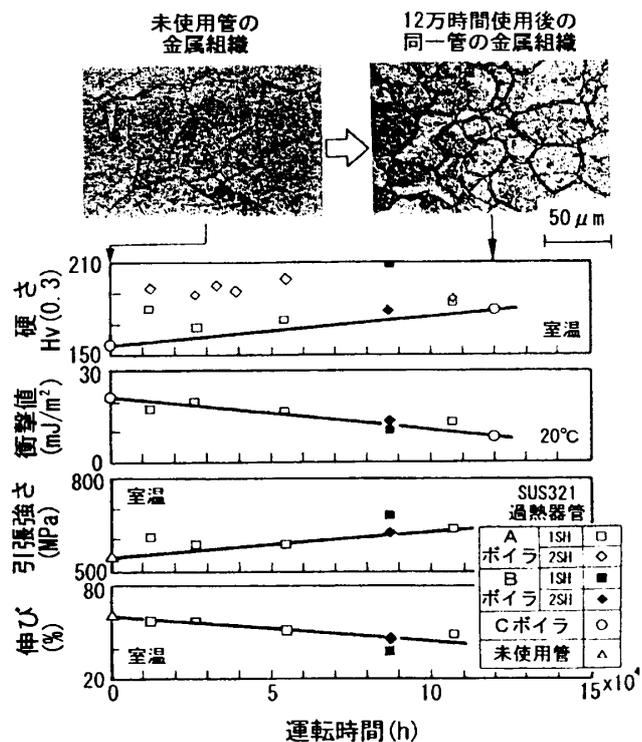


図2 ボイラ過熱器管材(SUS321)の運転時間に伴う機械的性質および金属組織の変化

### 3. 現状および将来の余寿命評価技術

3・1 余寿命評価の現状 経年火力設備のクリープおよび低サイクル疲労による余寿命評価法に関しては、国のプロジェクト「設備診断技術実証試験」(1988～1999年度)において集大成され、ボイラの定検周期の延長(2年から4年)を認める国(旧資源エネルギー庁)からの通達(1999年3月)に反映された<sup>3)</sup>。この場合、数mmオーダの巨視き裂が発生するまでの寿命を想定し、破壊法、非破壊法および解析法が同列に適用できる。しかし、各手法には一長一短があることから、それを踏まえた複数の手法による総合的評価、また同一機器の同一部位の経時的追跡評価(損傷速度的評価)が望ましいといえる。

3・2 今後の余寿命評価およびメンテナンス わが国では、これまで法的に定検が義務付けられ、ガスタービン静翼を除けば、基本的にき裂は許容されないことから、自ずと予防保全が浸透してきたといえる。しかしながら、欧米ではき裂を許容した設備の維持管理が為されており、冒頭で述べたような合理的なメンテナンスを指向するのであれば、わが国においてもき裂許容の概念を導入すべきものとする。このようなわが国のメンテナンス合理化の方向性をまとめると、図3<sup>4)</sup>のようになる。なお、巨視き裂発生前の微小き裂状損傷段階では巨視き裂を対象とする破壊力学が適用できることが知られているが、これは、現在の巨視き裂発生までの寿命管理においても、き裂許容の損傷概念に基づく余寿命評価が可能であることを意味している。

さて、1974年に起こった米国TVAでの蒸気タービンロータのバースト事故により中心孔の超音波探傷検査の必要性が認識されるとともに、その後の水平展開により多くのロータが取り替えられることになった。このように事故から学ぶことは多く、適切な対策と事故情報的確な伝承が為されれば、同じ事故が再発することはない。また、このような氷山の一角として起こる事故(アクシデント)の手前では、様々なトラブル(インシデント)が多数経験されている筈である。安全性・信頼性の確保には、事故よりも寧ろこのようなトラブル情報の伝承の方が重要である。そのためには、トラ

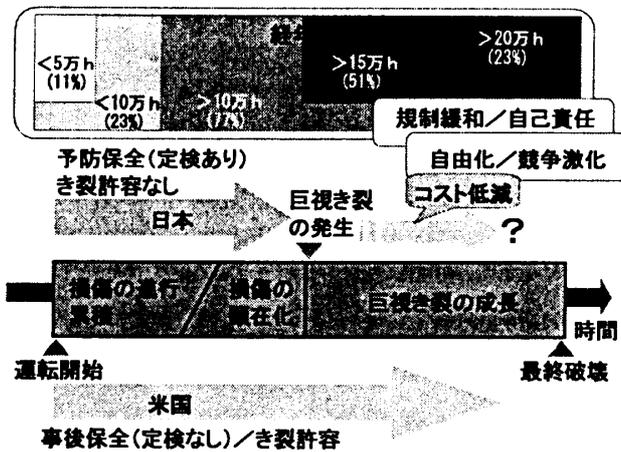


図3 わが国のメンテナンス合理化の方向性

ブル情報のデータベース(DB)化が必要であり、これは上述した技術力・技術者の空洞化の回避にも役立つものである。この他、究極状態に至るまでの経年部材に関わるDB、事故・トラブルを擬似体験できる解析ツール(トラブルシミュレータ)などの開発も考えられる。さらに、安全性・信頼性と経済性を両立させるには、上述したようにき裂を許容しメンテナンスの合理化を図るとともに、リスクを受容しリスク評価の上に立ったアプローチの導入が必要であるといえる。図4<sup>4)</sup>はこれらの課題をまとめたものである。

### 4. おわりに

以上、最近の社会情勢のもとで、主に経年火力設備のメンテナンスの現状と今後の方向性や課題について述べた。最後に、極論ではあるが、今後のメンテナンスのため、リスク評価に基づく適度なトラブルの経験、休止プラント等を用いた究極状態の実証などを望みたい。

### 参考文献

- 1) 新田明人, までりあ, 38, 666(1999).
- 2) 桑原和夫, 新田明人, 北村隆行, 緒方隆志, 火力原子力発電, 35, 887(1984).
- 3) 斎藤潔, 大西隆他, 火力原子力発電, 51, 506(2000).
- 4) 新田明人, 緒方隆志, 火力原子力発電, 52, 362(2001).

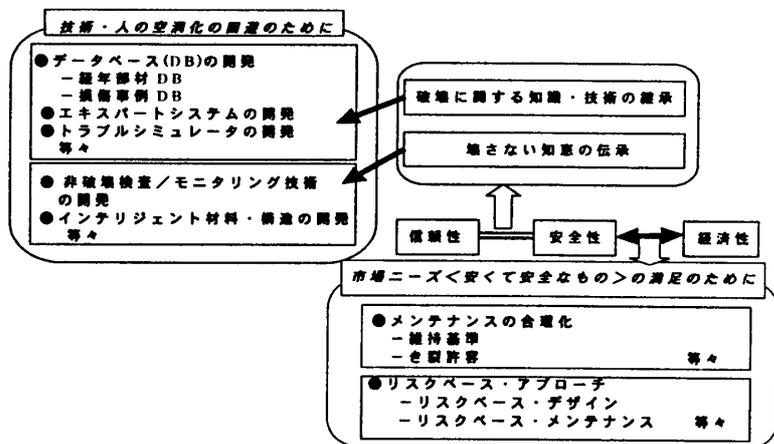


図4 火力発電設備の安全性・信頼性と経済性を確保するための課題