

# 火力発電用ボイラの検査技術

齋藤 規子 \* 芝田 三郎 \*\*

Noriko Saito

Saburou Shibata

国内の総発電量に対する既設火力発電設備の占める割合は大きく、機能・性能の維持、設備の信頼度維持のため保守、点検はますます重要となっている。よって効率よく検査部位を選定すると同時に劣化部位に対しては余寿命の的確な評価が必要と言える。一方、火力発電用ボイラの構造的な特徴として、狭隘な部位が多い、多種の材料から構成されている、溶接部が多数ある、高温で使用されている、温度差が発生するなどが挙げられる。このため各部の構造に応じて適切な検査手法を選定する必要がある。本稿では、近年、当社で実用化が進んでいる超音波を用いた検査手法である TOFD 法による水平管の内面腐食検査とモード変換波法によるクラウン貫通部の検査を紹介する。

キーワード：火力発電用ボイラ、超音波探傷法、TOFD 法、内面腐食、モード変換波法

## 1. はじめに

国内の既設火力発電設備は、設備の経年化が進行する中で、設備信頼度を維持しつつ負荷調整や頻繁な起動停止など多様な運用への対応が求められている。一方、設備の効率的な運用や保守費用の削減も求められている。そのため、ユニット停止につながるようなトラブルを未然に防ぐため、定期検査時の各種点検・検査の重要性が増し、検査の高精度化が求められている。

本書では、当社で実用化が進んでいる検査技術である水平管の内面腐食検査、モード変換波法によるクラウン貫通部の検査について紹介する。

## 2. 火力発電用ボイラの検査とは

図 1 に当社納入の事業用ボイラの平成 20 年 3

月末時点の運転実績を示す<sup>(1)</sup>。縦軸の累積起動停止回数は疲労損傷を評価する際の目安になり、横軸の累積運転時間はクリープ損傷や減肉による損傷を評価する際の目安となる<sup>(2)</sup>。事業用火力発電設備の経年化状況は、営業運転開始（運開）以降の累積運転時間が 10 万時間を越えるものが約 70%を占め、20 万時間を越えるものも 30%弱と年々経年設備の占める比率が大きくなってきている。また、累積起動停止回数が 2,500 回を超える設備もあり、過酷な運転が課せられている状況が示されている。起動停止に伴い、メタル温度差が発生することにより疲労強度の低下につながる。また、運転時間が長時間となることで、減肉の進行やクリープ破断強度の低下につながる。

電力は大量貯蔵ができないので、需要の時間変動・季節変動等に応じて常に発電設備の負荷を調

\* 株式会社IHI エネルギー事業本部 電力事業部 保守技術部 課長

\*\* 元 検査事業部 技術部（現株式会社アデルコ）

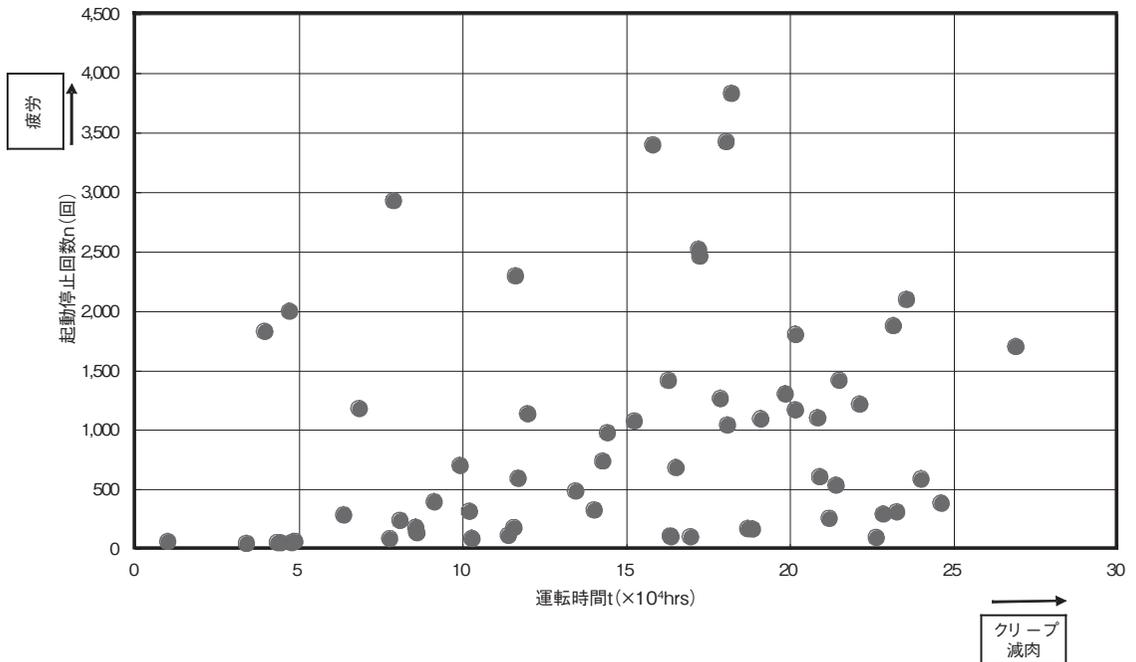


図1 IHI納入事業用ボイラの運転実績<sup>(1)</sup>  
(平成20年3月末現在)

整しながら需要に見合った電力を発電しなければならない。技術的・経済的観点から原子力発電設備をベースロードとして運用し、火力発電設備が負荷調整用として運用されることが多い。

火力発電用ボイラにはベースロード用として運転されてきたものもあるが、深夜や週末の需要が小さい場合には負荷を下げるのみならず、停止措置も必要となり、DSS (Daily Start Stop) 運転や週末には停止するボイラもある。また、ピークロード用として運用する場合は、常時停止しており、電力のピーク需要時のみ運転するボイラもある。

DSS 運転ボイラでは、図1に示すように累積運転時間が5万時間程度でも累積起動停止回数が2,000回程度のものであり、25万時間使用したボイラと同等の起動停止回数となっている。

図2に1990～2000年の事業用ボイラ設備における損傷発生部位と損傷原因の割合を示す。同図より、損傷発生部位としては、火炉壁管、過熱器

(SH)、再熱器 (RH)、節炭器 (ECO) 等の耐圧部で65%、配管を入れると全体で76%が高圧・高温の部位で発生している事がわかる。一方、耐圧部の損傷は、疲労損傷が60%で損傷原因の第1位、クリープ損傷が20%で第2位になっており、この2つの要因で全体の損傷の80%を占めている。摩耗や腐食による減肉を入れると実に耐圧部損傷要因の93%がこの3大要因で占められていることになる。

また、火力発電用ボイラの構造的な特徴としては、狭隘な部位が多い、多種の材料が使用されている、溶接部が多数ある、高温で使用されている、温度差が発生する、といった点が挙げられる。そのため、どのような損傷を見つきたいのか、または、その損傷が発生していないことを確認したいのか、と言った検査の目的に加え、検査部位に応じて、検査手法を選定する必要がある。

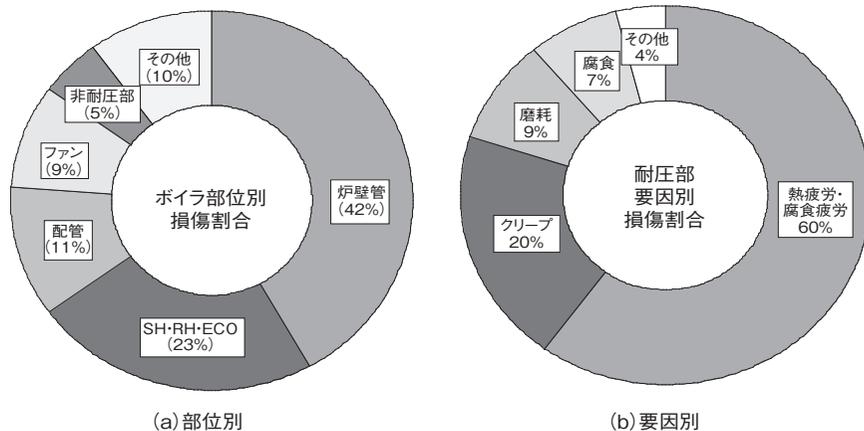


図2 1990～2000年の事業用ボイラ設備の損傷部位／損傷要因分析<sup>(2)</sup>

### 3. TOFD 法による水平管の内面腐食検査

#### 3.1 水平管で発生する内面腐食

後部伝熱部に配置される節炭器管、再熱器管などの水平管に対する内面腐食のメカニズムの概要を図3に示す。ボイラ運転中は管内部全体に流体が流れるため、管全体が腐食環境にさらされる。しかし、このときの腐食環境は管内面の全面腐食であり、管内面全体に薄い酸化皮膜が形成され、局所的な腐食は発生しない。また、ボイラ給水は溶存酸素が非常に低い状態であるため、全面腐食の進行速度は非常に緩やかである。

深夜停止や週末停止ではボイラ内圧を保持したまま保缶（ホットバンキング）し、保有熱を再起

動時に利用して短時間で起動できるようにする。

一方、ボイラの長期停止時には管内の蒸気や水を排出し、不活性ガス（窒素）を封入するが、管内には部分的に凝縮水（ドレン）が残存する場合がある。さらに保缶状況によるが、ドレンに酸素が供給されるような環境となると、管内面ではドレンが存在する領域において鉄の溶解反応と溶存酸素の還元反応による局所的な腐食が進行する場合がある。

なお、既に局部腐食が発生している領域では凹部が形成されており、プラント再停止の際にドレンが溜まりやすい状態になっている。そのため、再停止時には凹部に再びドレンが溜まりやすく、局所腐食の進行に対してより厳しい環境となる。

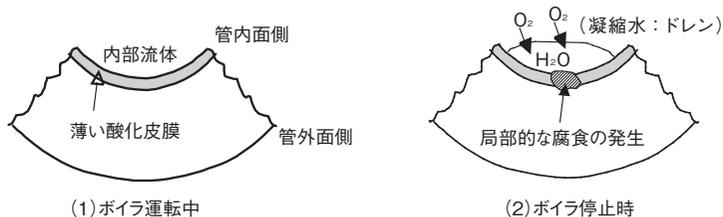


図3 水平管の内面腐食メカニズム概要<sup>(3)</sup>

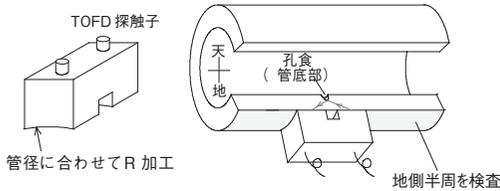


図4 TOFD法による水平管の内面腐食検査法

このように水平管の内面腐食は比較的稼働率の低い、停止期間の長いボイラで認められる事象である。水平管が多数存在する節炭器管や再熱器管で発生しやすい。

### 3.2 TOFD法による内面腐食検査

TOFD法は二つの斜角探触子を対向して配置し、直線的に探触子を走査する方法である。このとき、二つの探触子間の距離は一定となるようにする。内面腐食検査のように小口径管の探傷を行う場合は、二つの探触子を一体型としている(図4)。

きずのない健全部では、表面を伝搬するラテラル波と裏面で反射する底面波のみが得られる。内

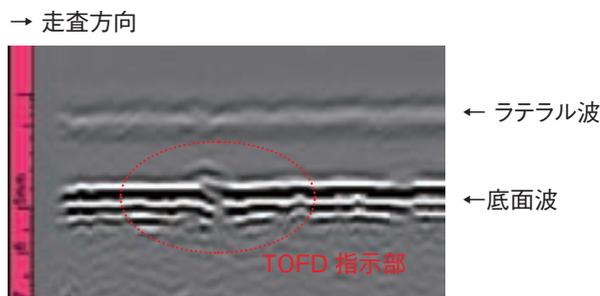
部にきずが存在すると、更にきずの端部で回折して得られる回折波が得られる。得られた信号波形の振幅値(エコー高さ)を濃淡またはカラーで表示させると、一本の線でエコー高さを表示でき、これを探触子の直線走査に対応して並べると探傷画像が得られる。

TOFD法はきずの検出に用いる場合には、溶接線方向に探触子を直線的に走査するだけでかなりの範囲を探傷でき、探傷速度も速いなどの特長を持っている。

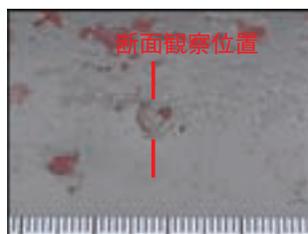
検査は、水平管でドレンが溜まりやすい部位の地側(下部)半周の探傷を行い、ラテラル波、底面波以外の腐食部からの回折波の有無を監視する。腐食がかなり進行している場合には、腐食部からの回折波の伝搬時間を用いて、腐食深さを求めることも可能である。

図5に探傷例を示す。TOFD法による探傷を行ったのち、管の断面観察を実施した結果、TOFD指示部で腐食が認められた。

大口径管のみならず、小口径管へもTOFD法を



(1) TOFD法探傷結果



(2) 管内表面外観観察結果



(3) 断面観察結果

図5 水平管の内面腐食 探傷例

適用することは、探傷結果の可視化に伴い、きずの識別性の向上や、探傷結果のわかりやすさが検出性の向上につながっており、今後も適用範囲を拡大していきたい。

#### 4. モード変換波法によるクラウン貫通部の検査

##### 4.1 クラウン貫通部で発生する損傷

炉内の伝熱管はクラウン（天井）貫通部を通じて、天井囲内の管寄に接続されている。クラウン貫通部は図6に示すように過熱器管または再熱器管とクラウン部、天井管などで構成される複雑な構造となっており、また、各部位で温度差が生じ、疲労損傷が発生する可能性がある。外表面の割れはPTやMTで探傷が可能であるが、隅肉溶接のルート部で割れる場合もあり、超音波による探傷も行っている。

##### 4.2 隅肉溶接部の探傷方法<sup>(4)</sup>

図6に、クラウン貫通部で管とスリーブが溶

接される構造を採用した場合の溶接部形状ときずの形状の例を示す。これらのきずの探傷方法としては、横波斜角探触子による一回反射法、表面SH波法やクリーピング波法が考えられる。

横波斜角探触子による一回反射法は、裏面で超音波を一度反射させ、裏面からの反射波をきずに入射させて探傷する方法であり、一般に用いられている方法である。しかし、隅肉溶接ルート部に生じるき裂では、コーナー反射が生じにくく、き裂からのエコー高さは、き裂の傾きに著しく依存する。また、隅肉溶接部のルート部や止端部などから発生する妨害エコーとの識別が難しくなると考えられる。従って、本探傷方法では、比較的大きく、単純な形状のき裂の検出を対象として適用すべきであると考えられる。

SH波は、横波の一種であり、表面を伝搬する表面波として用いると、表面粗さなどによる影響を著しく低減でき、モード変換（縦波から横波、あるいは、横波から縦波への変換）によるエコー

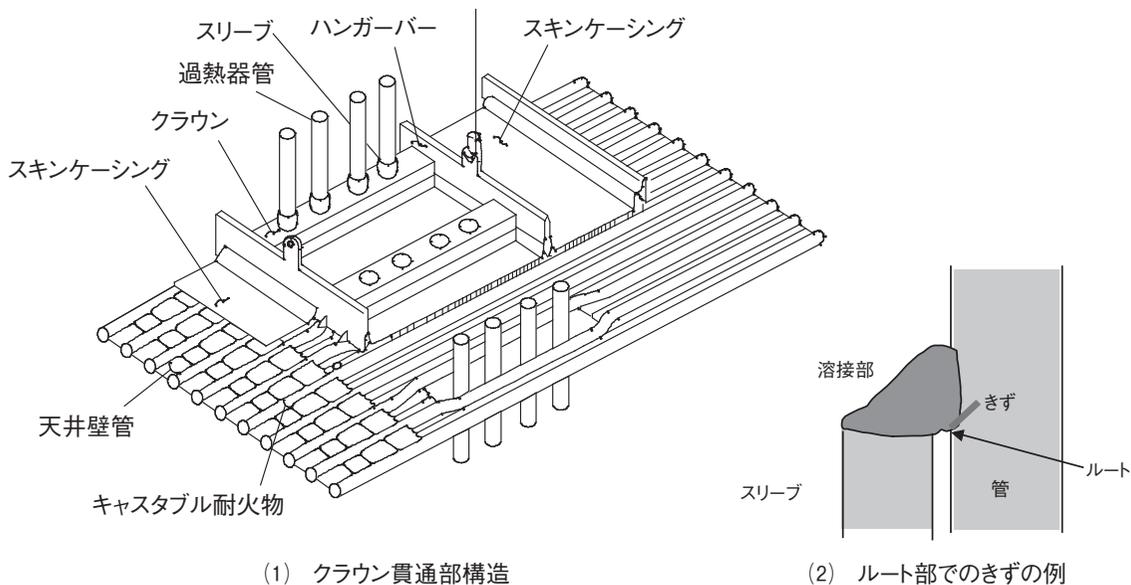


図6 クラウン貫通部構造（スリーブ構造の場合）

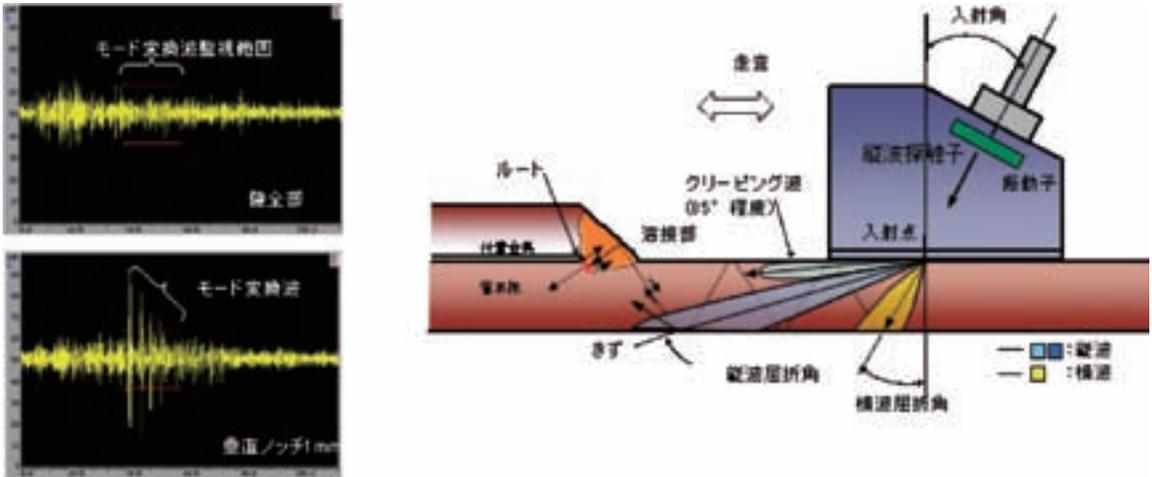


図7 モード変換波法概要<sup>(4)</sup>

高さの低下がないなどの特長を持っている。

一方、SH波探触子を用いる場合には、きわめて粘性の高い物質を接触媒質として用いる必要がある。この粘性の高い接触媒質を用いると、探触子の走査性を著しく悪くするとともに、エコー高さの安定性も悪くなる。そのため、検査数量が多くなる実機での検査にはあまり適していない。

これに対して、クリーピング波探触子の場合には、通常横波斜角探触子の場合と同様の液体の接触媒質を用いることが可能であり、安定してエコー高さを評価できる。しかし、きずを直射で探傷する場合には、SH波を用いる場合と同様に、ルート部で妨害エコーが発生することを考慮する必要がある。特にきずの傾きによって、エコー高さがどの程度変化するかなどを予め確認しておく必要がある。

#### 4.3 モード変換波法による探傷<sup>(4)</sup>

モード変換波法は、縦波斜角探触子を用いて、裏面でモード変換した波をき裂部に入射して探傷する方法である。縦波斜角探触子を用いたモード変換法の概念を図7に示している。縦波斜角探

傷法では、探触子から縦波のほかに横波も同時に発生する。これらの波が裏面で反射するときにモード変換が生じ、横波や縦波も同時に発生する。これらの多くの波がき裂部に入射して、通常複雑な探傷波形を生じる。これらのモード変換した波で得られる探傷波形を解析し、評価することにより、微小なき裂の検出性が向上する。

実際の検査では、クリーピング波法、モード変換波法を用いて探傷を行っている。モード変換波法は、ルート部の形状によってもエコー指示が高くなる場合があり、クリーピング波法の結果や設計的な検討を含めた総合的な評価を行っている。また、経年監視を行うことにより、ルート部の形状によるエコーであるものか、きずが進展しているものを判断できる。

## 5. おわりに

設備の機能・性能の維持・向上を図ると同時に保守費用削減を実現するには、適切な時期に検査・更新を実施する必要がある。そのためは、検査技術の一層の向上を図り、各部の余寿命を的確に予測しなければならない。本稿では、近年、当社

で実用化が進んでいる超音波を用いた検査手法である TOFD 法による水平管の内面腐食検査とモード変換波法を紹介した。

今後も IHI グループとして火力発電用ボイラの検査技術の向上に努めていきたい。

#### (参考文献)

- (1) 横山 成就「ボイラメンテナンスにおける検査と評価技術」：火力原子力発電協会北海道支部 H19 年度研究発表会資料、2008
- (2) 吉田敏明、中川博勝「ボイラメンテナンスの

ための検査と損傷度評価技術」：火力原子力発電、Vol.56、No.7、P.643-654、July 2005

- (3) 仲尾元六、野中一男、関幹人、臼井友美、中村徹二、大槻幸人「ボイラ再熱器の管内面孔食と防止法」：火力原子力発電、Vol.37、No.9、p.909-916、Sep. 1986
- (4) 芝田三郎、梶ヶ谷一郎「縦波斜角モード変換法による SUS304 隅肉溶接部のルート部き裂の探傷技術」：IIC レビュー、No.36、p.9-16、2006-10



株式会社IHI  
エネルギー事業本部 電力事業部  
保守技術部  
齋藤 規子  
TEL. 03-6204-7539  
FAX. 03-6204-8791

元 検査事業部  
技術部（現株式会社アデルコ）  
芝田 三郎  
TEL. 045-759-2163  
FAX. 045-759-2146