

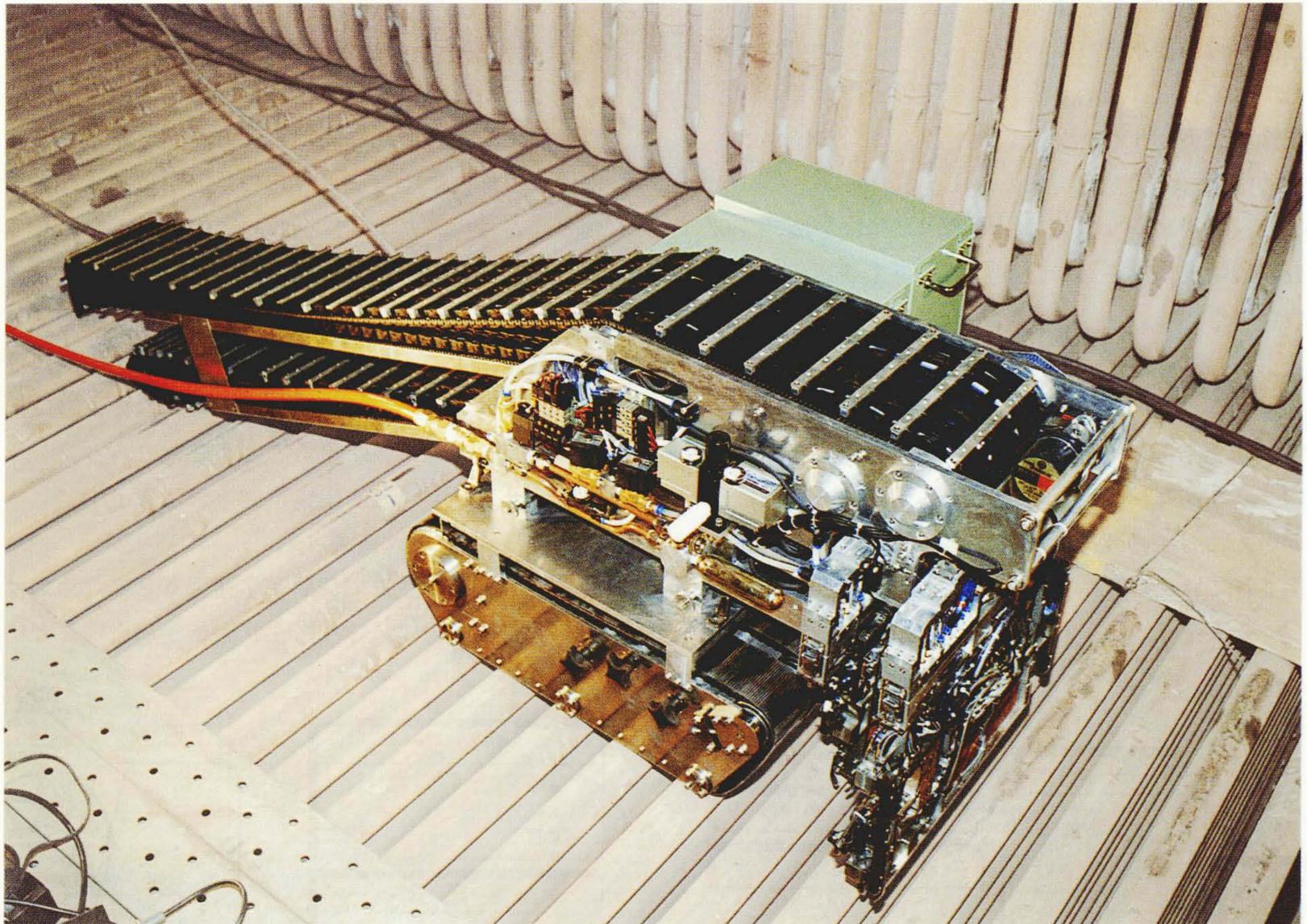
# ボイラの予防保全技術

— 損傷部の最新検査技術 —

Preventive Maintenance Technology for Boiler

関 幹人\* *Mikito Seki*

諸永雅晴\* *Masaharu Moronaga*



**ボイラ過熱器，再熱器管清掃検査ロボット** ボイラ過熱器や再熱器管の管ピッチが狭くても，肉厚測定が簡単にできるロボットを示す。赤外線照射によって管表面付着灰の除去ができる機能を持つ。

既設ボイラの長期運用に伴う経年劣化が進む中で，最近の運用条件を満足させ，かつ信頼性の確保を図ることがメーカーとしての責務である。このための対応策として，各電力会社との共同研究などによって予防保全技術の開発が進められており，その

多くは実用化への段階に入ってきた。

バブコック日立株式会社は経年ボイラの定量的な診断技術の開発，最新設計技術の採用による改善提案，定期点検合理化による工期短縮など，環境を含めた予防保全策を積極的に進めている。

\* バブコック日立株式会社 呉工場

## 1 はじめに

バブコック日立株式会社が納入した既設ボイラ設備は、全国で76プラントが稼動中である。このうち約60%のプラントが運開後20年を経過し、約70%のプラントが累積運転時間10万時間を超えている。近年の電力需給形態の変化により、経年ボイラであっても高頻度起動・停止といった過酷な運転を要求されるとともに、一方では寿命延伸対策が要求されている。

したがって、取り扱いが容易で精度の良い余寿命診断評価技術<sup>1)</sup>と短工期での改造工事技術の確立が経年ボイラの予防保全として急務である。

ここでは経年ボイラ設備の損傷要因と損傷事例、非破壊検査の最新技術、さらに定期点検工事工期短縮の具体策について述べる。

## 2 経年ボイラの課題と対応

経年ボイラを寿命延伸し、安定した電源供給を図るためには、定期的な精密点検によって弱体部位を着実に改善していくことが必要である。また、ベース負荷用として運用されてきた経年ボイラの経年劣化対策と、起動時

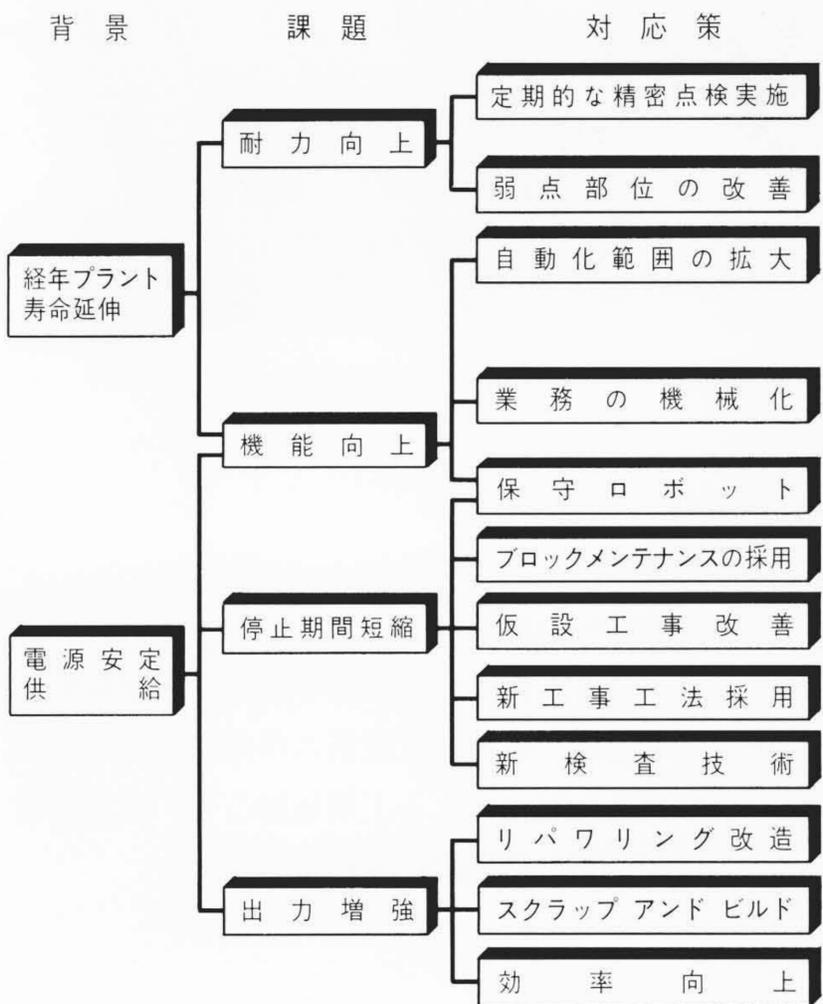


図1 経年ボイラの課題と対応 経年プラントの寿命延伸には、定期的な精密点検によって弱体部位を着実に改善していくことが重要である。

間短縮や負荷変化率の向上等の運用性能改善を同時に達成するための火炉壁スパイラル化などの抜本的なボイラ改造<sup>2),3)</sup>では、改造工事工程の短縮が必須(す)である。

経年ボイラの課題と対応策を図1に示す。このうち、新検査技術による精度および能率向上、新工事工法による定期点検工期短縮などの技術確立が急がれている。

## 3 経年ボイラの信頼性向上、寿命延伸

### 3.1 経年ボイラの損傷要因と事例

ボイラ耐圧部の経年劣化による損傷要因は、クリープ、疲労および腐食摩耗に大別される。図2に示すように、ボイラの部位によってこれらの要因が単独で存在する場合と、腐食疲労のように複数の要因の組み合わせで存在する場合がある。

クリープについては膨出噴破、疲労については割れ、腐食摩耗については減肉の現象が現れる。損傷部位の評価にあたっては、損傷要因とメカニズムを正確に把握し損傷範囲を的確に判断することが必要である。

ボイラ部品の代表的損傷事例を表1に示す。

### 3.2 信頼性向上改善例

経年ボイラをさらに長期安定運用させるためには、ユニットの運用条件、経年劣化状態を定期点検ごとに効率

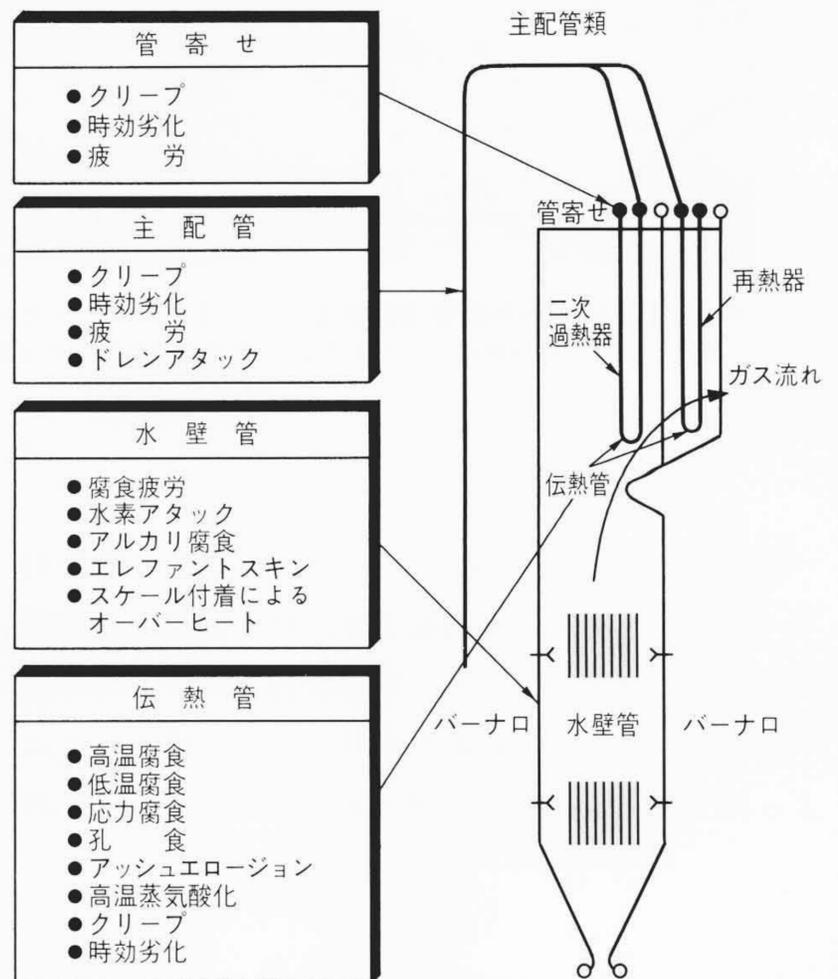
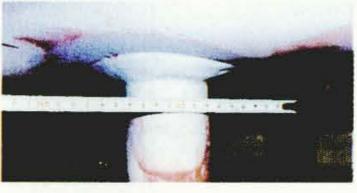
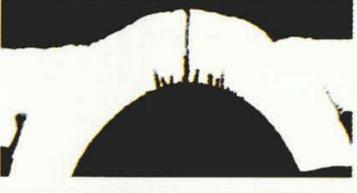


図2 経年ボイラの代表部位と損傷要因 ボイラ耐圧部代表部位の経年劣化による損傷要因を示す。

表1 ボイラ部品の代表的な損傷事例 経年劣化による要因別のボイラ部品損傷事例を示す。

要因	現象	事例	損傷部位
(1) クリープ	高温下で応力の作用のもとで起こる低速度の変形	 過熱器管の長時間クリープ割れ (約15万時間経過後の例)	<ul style="list-style-type: none"> <li>過熱器管</li> <li>再熱器管</li> </ul>
(2) 疲労	応力の繰り返しによって生じる割れ	 管寄せの管台溶接部の疲労割れ	<ul style="list-style-type: none"> <li>主蒸気管ドレン配管溶接部</li> <li>高温再熱蒸気管圧力検出配管溶接部</li> <li>水壁開口部シールボックス溶接部</li> </ul>
(3) 腐食疲労	腐食環境下で応力の繰り返しによって生じる割れ	 水壁管付着物溶接部の腐食疲労割れ (約15万時間経過後の例)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水壁ペントハウス取合部</li> <li>ウインドボックス取合部</li> <li>ホッパケーシング取合部</li> </ul>
(4) 孔食	ボイラ停止時の凝縮水滞留と溶存酸素による電気化学的腐食	 つり下げ再熱器ベンド部の孔食 (約14万時間経過後の例)	<ul style="list-style-type: none"> <li>再熱器管</li> </ul>

的に診断し、弱点部位の補修および寿命延伸化改善を行うことが必要である。

損傷診断部位の選定では、理論的および経験的に損傷の可能性があり、かつ損傷発生時にユニット運転への影響が最も大きいものを重要度評価して決定すべきである。

余寿命診断評価に基づき、寿命末期と評価された部位については、最新設計ユニットに採用している技術を応用して改善することにより、信頼性向上と寿命延伸化を図ることができる。最新設計技術に基づく改善事例を、旧技術と比較して図3に示す。

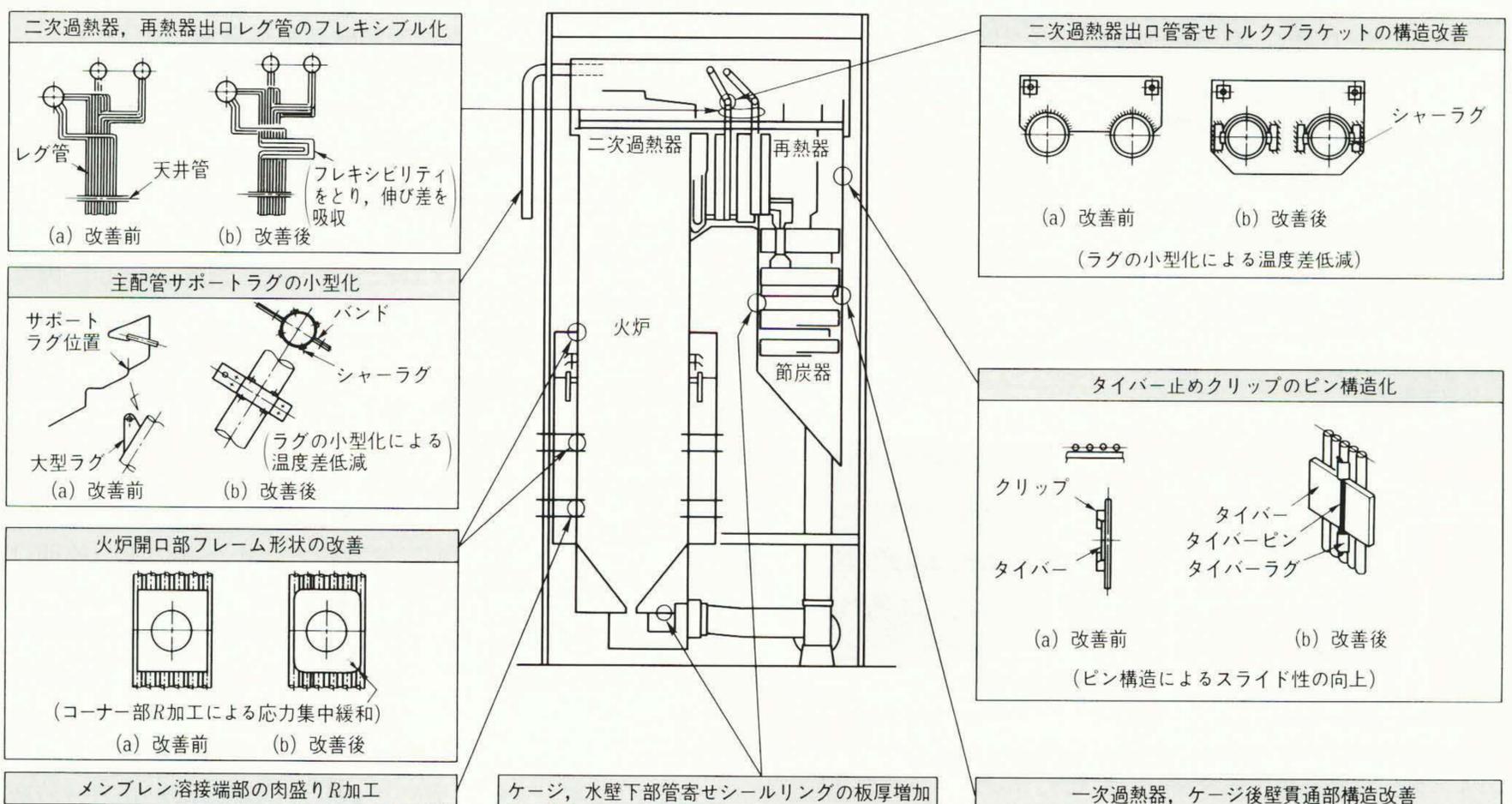


図3 経年ボイラの信頼性改善 余寿命診断評価に基づき、最新設計技術による改善を行う。

## 4 最新検査技術

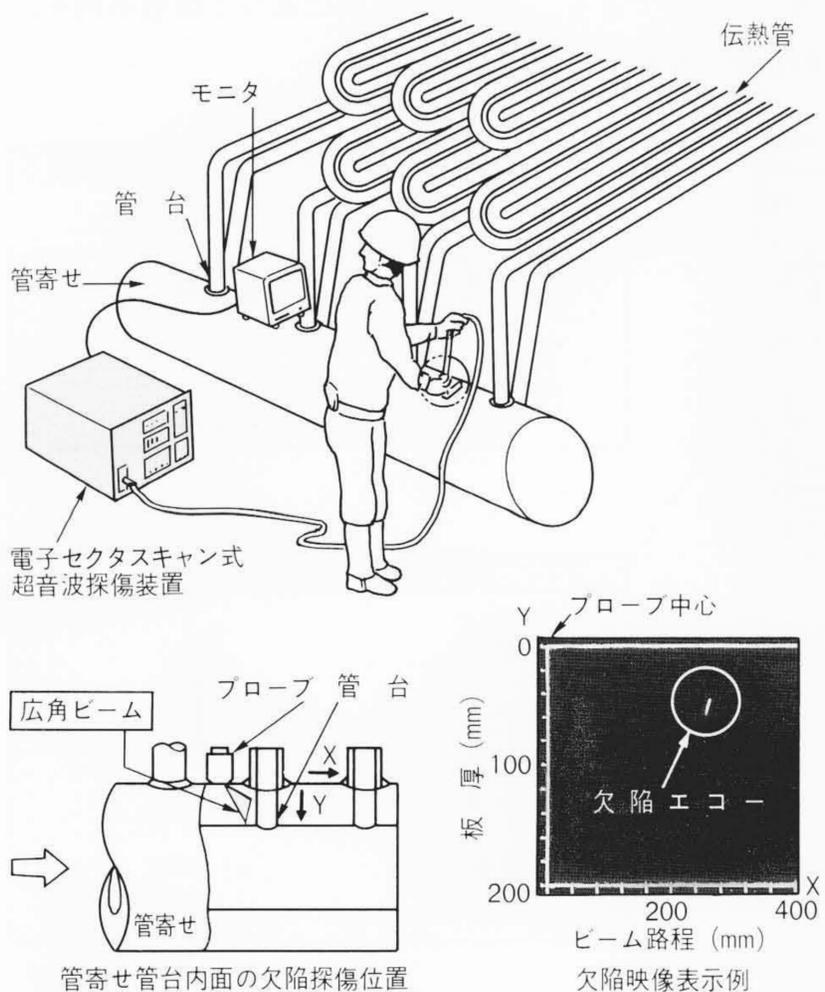
火力発電設備の長期安定運用化を実現するための保守管理として、限られた定期点検期間内に広範囲の部位を適正に診断することが必要である。このため、高効率、高精度な各種検査機器を開発し、実缶に適用することにより、従来アクセス不可能な狭い部分の診断や定性評価していた損傷部の定量評価を可能とした。以下にその具体例について述べる。

### 4.1 微小欠陥高精度超音波探傷装置

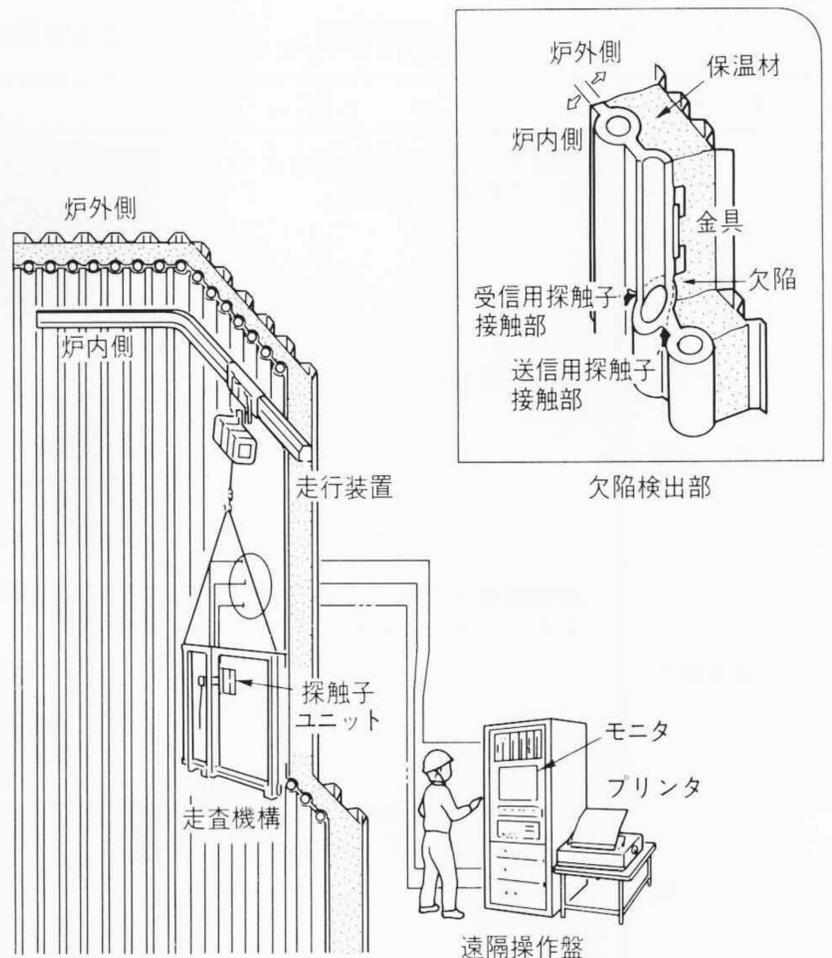
多数の管台を持った厚肉管寄せの管台穴内面には、クリープ損傷、疲労損傷によって割れが発生する。当該部は、管寄せ外表面が狭いため、外面からの非破壊検査が不可能であったが、**図4**に示すように超音波ビームを广角に電子スキャンする超音波探傷装置を開発し、外面からの非破壊検査を可能とした。さらに、従来検査での管台切断・復旧の検査付帯工事を不要とした。

### 4.2 ボイラ水壁裏面超音波診断装置

水壁管の炉外側に取り付けている付着金物溶接部には、疲労損傷によって割れが発生する。この欠陥は、従来技術では、炉外からケーシング、保温材を解体後検査



**図4** 微小欠陥高精度超音波探傷装置 広角ビームを使ったプローブを使用するため、狭い部分の検査ができ、かつ微小欠陥が検出できる。



**図5** ボイラ水壁裏面超音波診断装置 探触子ユニットが組み込まれた走査機構が火炉内側を遠隔操作にてボイラ縦方向、横方向を自走し、かつ欠陥を検出する。検査結果はモニターに映像表示され、欠陥が容易に判定できる。

していたが、**図5**に示す水壁管炉内側から炉外側金物溶接部を超音波探傷する装置を開発したことにより、検査付帯作業を省略可能とした。さらに、鋼中伝搬またぎ法の超音波探傷によって管内水張り作業も不要とした。

### 4.3 ボイラチューブ診断超音波探傷装置

過熱器・再熱器管では、高温腐食による減肉、クリープ損傷または疲労損傷によるスペーサ溶接部の割れが発生する。この損傷に対して、**図6**に示すように、ケーブルの先端に取り付けた超音波プローブを水圧によって管内面へ挿入しながらプローブから超音波を発信し、肉厚測定およびスペーサ溶接部の探傷を行う装置を開発した。管内面からの診断のため、従来実施してきた管外面スケール除去作業、足場設置などの検査付帯工事を省略することができた。

### 4.4 ボイラ過熱器、再熱器管清掃検査ロボット

横置き過熱器・再熱器管は管ピッチが狭い上、管間げきの拡大作業が難しく、管表面清掃、肉厚測定が困難であった。そのため、**図7**に示すような非接触型電磁超音波測定器を採用したロボットを開発した。これは付着灰の上から肉厚を直接測定できる小型電磁超音波センサによって肉厚測定を行うものであり、同時に伝熱管と付着灰との熱膨張差に着目した赤外線照射による自動灰除去機

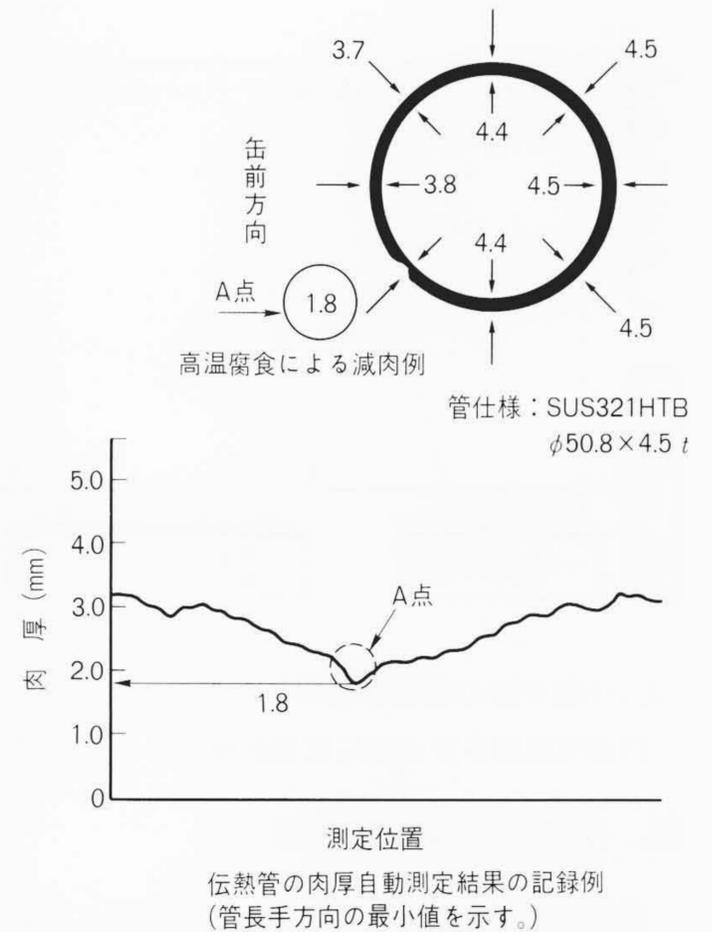
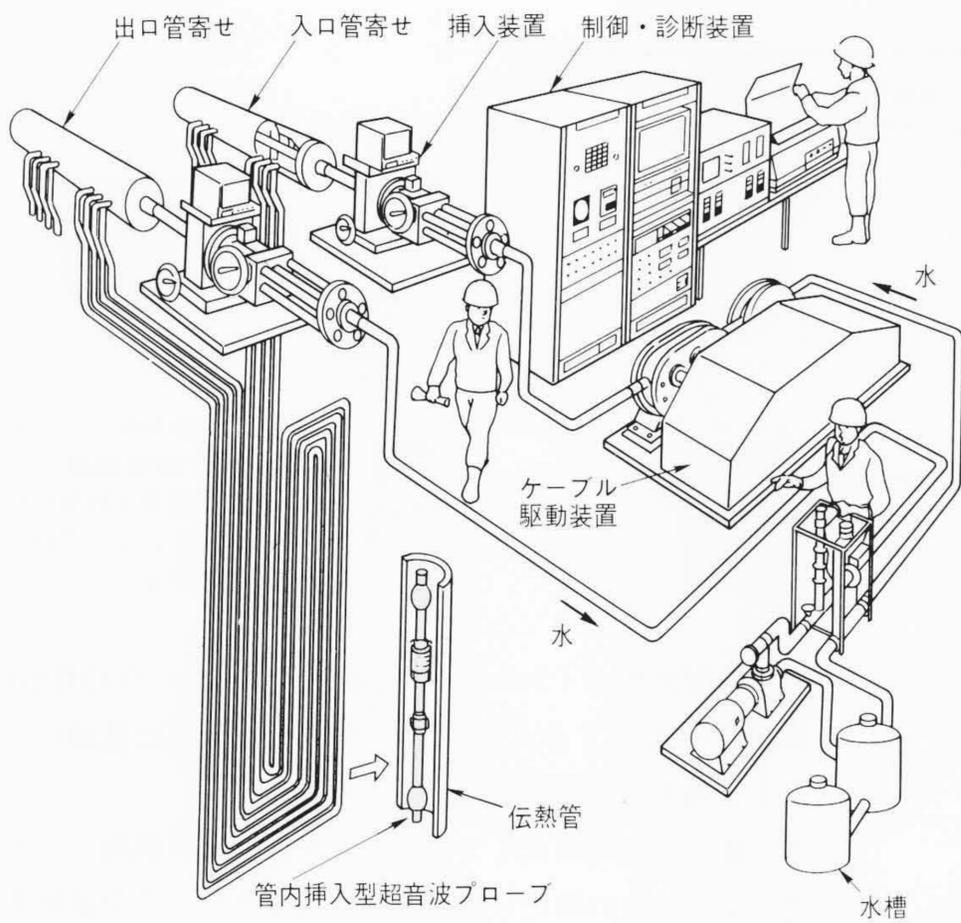


図6 ボイラチューブ診断超音波探傷装置 超音波プローブはケーブル駆動装置から水圧にて送り出され、挿入装置を通り伝熱管内に挿入され、管の内面から肉厚測定と探傷が連続的にできる。

能を持ち、従来の管表面の磨き作業を必要とせず簡単に肉厚測定ができる装置である。

#### 4.5 ボイラ伝熱管腐食疲労欠陥検出装置

水壁管の付着金物溶接部あるいは過熱器管、再熱器管スペーサ溶接部の管内面には、腐食疲労割れが発生する。この欠陥に対しては従来技術では、放射線透過試験によって定性評価し、さらに抜管調査を併用して検査精度を高めていた。そのため図8に示す管内面欠陥からの漏洩

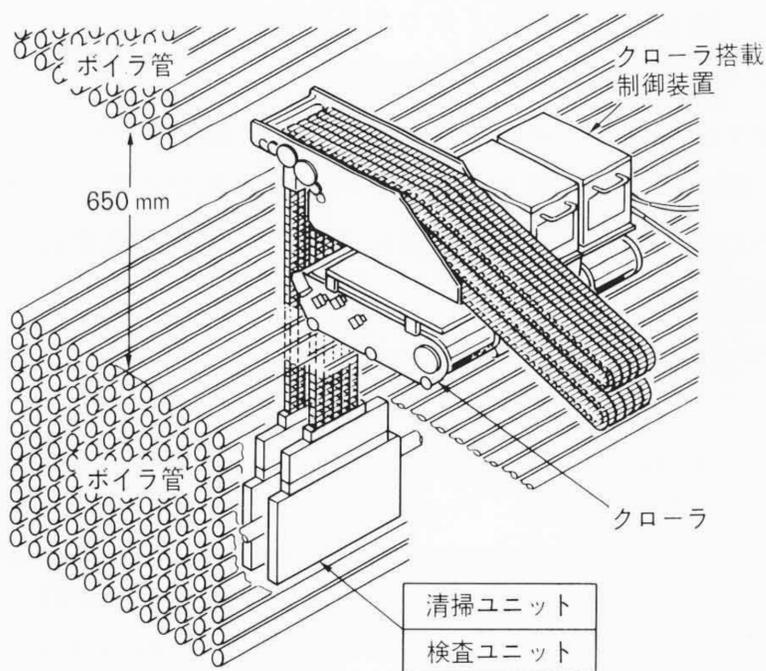


図7 ボイラ過熱器・再熱器清掃検査ロボット 走行装置であるクローラに取り付けられた清掃、検査ユニットが伝熱管の間を上下移動することによって清掃、検査ができる。

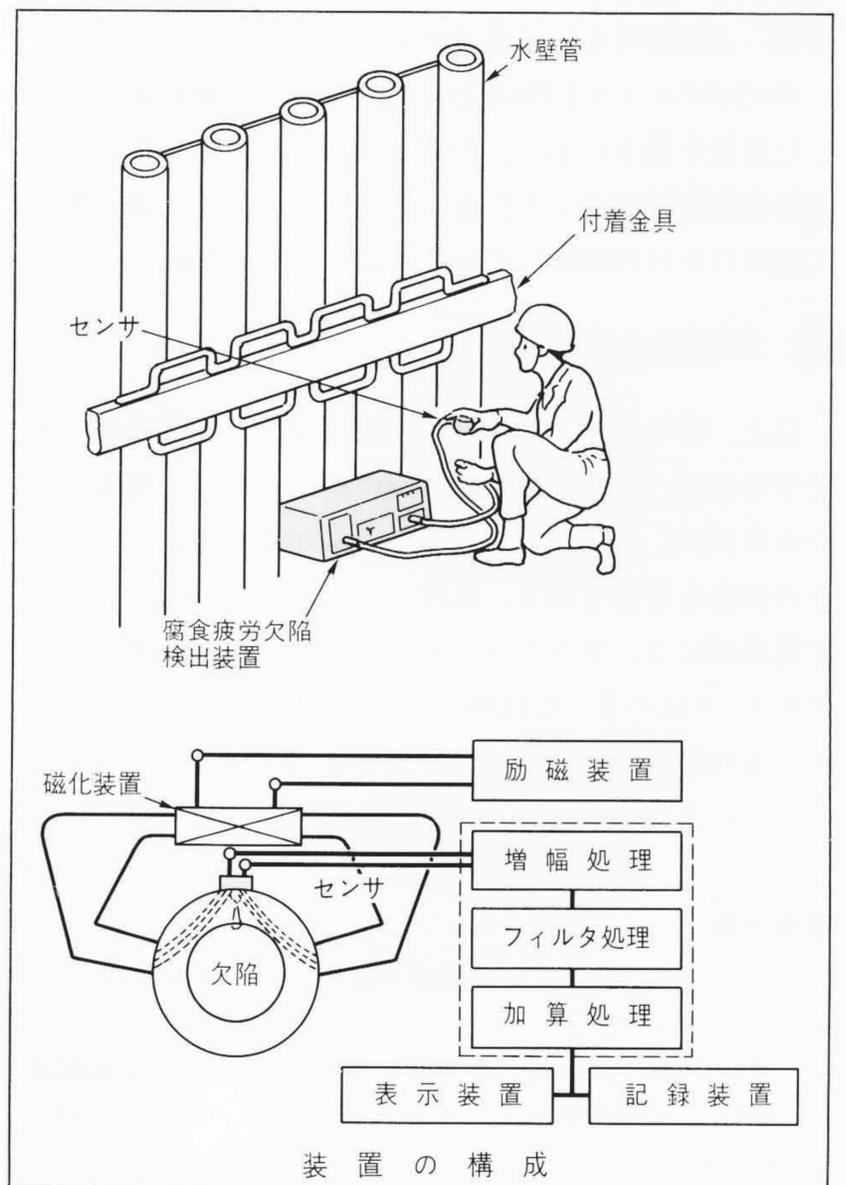
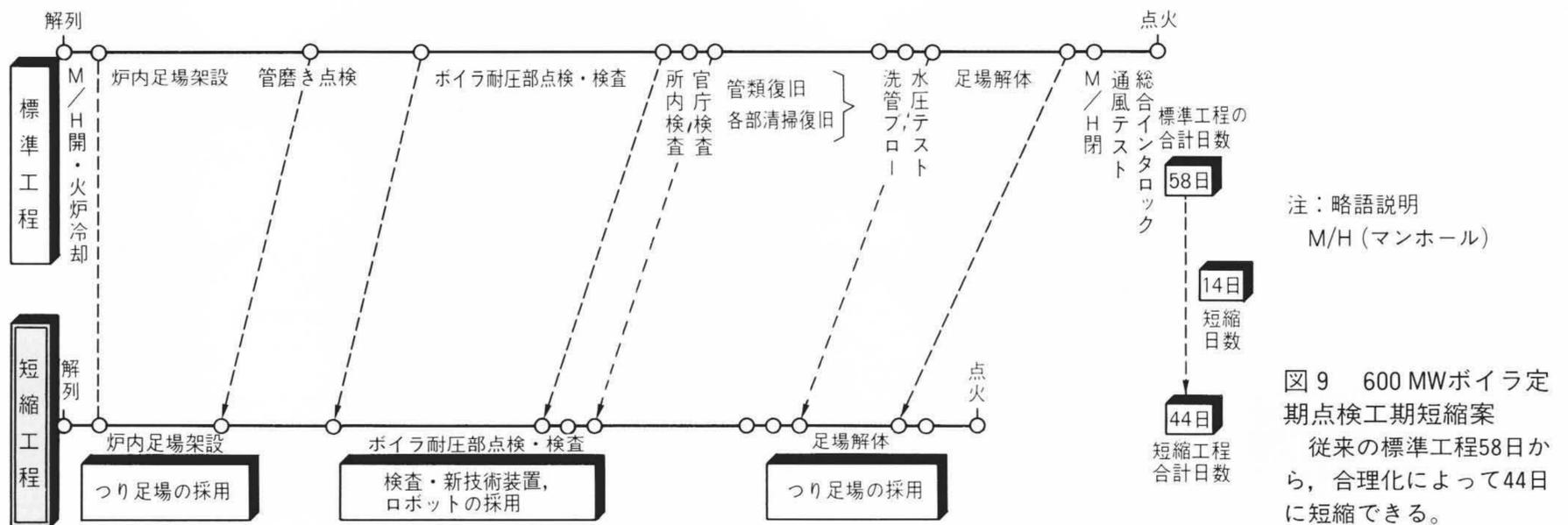


図8 ボイラ伝熱管腐食疲労欠陥検出装置 漏洩磁束法の原理を適用した装置の開発により、欠陥を定量評価することができる。さらに小型・軽量であり、現場作業性に優れている。



(えい)磁束法の原理を適用した装置を開発し、管外面から内面欠陥深さを迅速に定量評価することを可能とした。

### 5 定期点検合理化技術

最近の電力需給逼迫(ひっ)迫や人手不足、3K(汚い・危険・きつい)職場対策などで改造工期を合理化短縮する必要が生じている。短期工法の確立には安全管理、品質管理、工程管理などに改善が必要となる。

600 MWボイラを例に定期点検工事の工期短縮を検討した結果を図9に示す。炉内足場につり足場を採用し、各種自動検査ロボットを適用することにより、従来の標準工程58日を14日短縮して44日で完了できる見通しを得た。

### 6 環境保全対応技術

以上、経年ボイラ耐圧部の信頼性向上、寿命延伸技術を中心に述べた。地球環境保護の観点から火力発電設備からのNOx、CO<sub>2</sub>などの発生量低減が要請されており、その対応も重要である。既設ボイラからのNOx、CO<sub>2</sub>発生量低減には、プラント効率向上や燃焼特性改善が有効であり、下記のような技術にて対応していく考えである。

(1) 石炭燃焼ボイラのバーナをNR-IIバーナ<sup>4)</sup>へ改造することによって、NOx発生量を改造前の約 $\frac{1}{3}$ に低減する。

- (2) 石炭燃焼ボイラのボールミルを高性能ローラ(MPS)ミル<sup>4),5)</sup>へ変更することにより、未燃分を大幅に低減してボイラ効率を向上させる。
- (3) 油・ガス燃焼ボイラのウインドボックス個別バーナ化により、きめ細かい燃焼調整を可能とし、空気過剰率を低減してボイラ効率の向上を図る。

### 7 おわりに

近年、経年ボイラの増大に伴って運用性の面でさらに厳しい対応策が求められるようになってきた。おのこの機器の信頼性向上のためには、定期点検ごとに修理するという概念から脱皮し、データベースに基づいて保守を行うという概念に視点を変えた理念をさらに構築する必要がある。

このためには各電力会社の指導のもとに、

- (1) 診断技術の信頼性構築
  - (2) 検査技術の拡大と取り扱いの容易性
  - (3) ボイラ停止期間の短縮
- 等々が日夜取り組むべき課題であると認識している。

終わりに、各電力会社殿との共同研究などで、ご指導いただいた事項を発表するにあたり、深謝の意を表す次第である。

### 参考文献

- 1) 山中, 外: ボイラの予防保全技術, 日立評論, 72, 8, 733~740(平2-8)
- 2) 早田, 外: 五井火力発電所2号貫流ボイラの設備耐力強化と起動性能向上, 火力原子力発電, 39, 12, 53~62(1988-12)
- 3) 高田, 外: 600 MW超臨界圧貫流ボイラの大規模改修, 火力原子力発電, 43, 5(1992-5)
- 4) F.Koda, et al.: Update '93 on Design and Application

- of low-NOx Combustion Technology for Coal Fired Utility Boilers, Presented at '93 EPRI/EPA Joint Symposium on Stationary Combustion NOx Control, Miami Beach, Florida, U.S.A., 24-27(1993-5)
- 5) T. Ishida, et al.: Advanced Technology for Coal-Fired Boilers, Hitachi Review Vol.42- No.1, 25-30(1993-2)