関西電力(株)高砂発電所２号ボイラの再生改造

Reconstruction of The Kansai Electric Power Co., Inc., Takasago Power Station No.2 Boiler

長崎造船所　岩永悼正*1　山田信彦*2
佐藤進*3　古川勲*4

関西電力(株)高砂２号ボイラは，昭和46年10月に運開した450 MW超臨界圧定圧貫流重原油だきボイラである．これまでの約20年間に12万5千hを超える運転時間と700回に及ぶユニット起動停止により火炉壁，後部煙道壁各部で寿命を消費した部位が多くなり部分改修では不経済となることから，今回火炉壁管，後部煙道壁管ほかを，最新の設計手法により，全面取替を行った．工事方法としてはジャッキダウン工法を採用し，工期短縮，品質向上及び安全性向上等を図るなど最新の英知により設計，施工を行い，平成6年6月に予定どおりの成果を得て運開した．

The No.2 Boiler, Takasago Power station, the Kansai Electric Power Co., Inc., is a 450 MW heavy oil and crude oil fired supercritical constant pressure once-through boiler, which was commissioned in October, 1971. Over approximately 20 years, the plant experienced over 125 000 operating hours during which the plant underwent numerous start-ups and shut-downs so that many parts of the boiler were worn in various locations on the furnace wall and on the backpass wall to such an extent that economic repairing was no longer practical. Consequently, it was decided that overall replacement of furnace wall-tubes, the backpass wall-tubes, etc., should be undertaken by means of the most up-to-date procedure, and the technical procedure used was the "jack-down construction method". Incorporating this method, which is one of the most advanced know-how, the work period was shortened, quality was improved, and safety was enhanced. As such, the plant was able to resume operation successfully as scheduled in June, 1994.

1．まえがき

関西電力(株)高砂発電所２号ボイラは，昭和46年10月に運開した450 MW超臨界圧貫流重原油だきボイラでベースロード火力として順調に運転されてきた．しかしながら昼夜の電力消費が大幅が変わるという需要の変化に対応するため，制御系，運用性を中心とする調整を経て，昭和58年頃から本格的高頻度発停ユニットとして運用が行われてきた．この間に発停回数の増加とともに炉壁関係の熱疲労損傷及びガスリーク等が顕著になってきた．これらの発生機構究明と対策立案に当たっては，類似ユニットに共通した一般的要因はもとより，特にそのユニット個有の要因を明確に把握することが必要であり，本ボイラではボイラ全般にわたる計測調査と詳細解析を行い，その結果恒久対策とするために火炉壁管全域の新しい設計による更新を行った．

2．耐圧部取替えに至った経緯

高砂２号ボイラの火炉は，単炉型であり，カットコーナで炉壁を構成したことにより，スクエアコーナになる部分でチューブピ

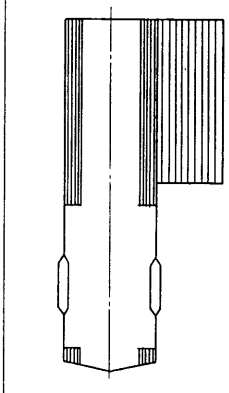
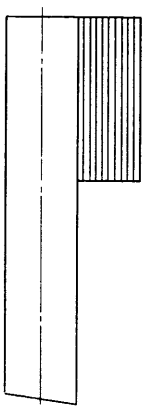
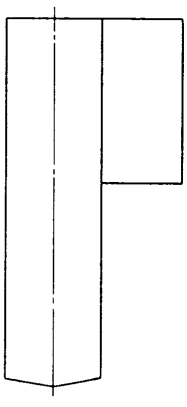
ユニット名	高砂1，2号	A	B
ボイラ型式	超臨界圧定圧貫流ボイラ単炉型	超臨界圧定圧貫流ボイラ分割炉型	超臨界圧定圧貫流ボイラ分割炉型
出力	450MW	450MW	600MW
通風方式	加圧通風	加圧通風	加圧通風
運開	1号：46/9　2号：46/10	43/3	48/10
炉壁構造			

図１　高砂２号ボイラの炉壁構造の特徴（超臨界圧定圧貫流ボイラ）
Feature of furnace wall structure for Takasago No.2 boiler (Supercritical constant pressure once-through boiler)

*1火力プラント設計部長　*3火力プラント設計部陸用ボイラ設計一課長
*2火力プラント建設部長　*4火力プラント建設部建設技術課

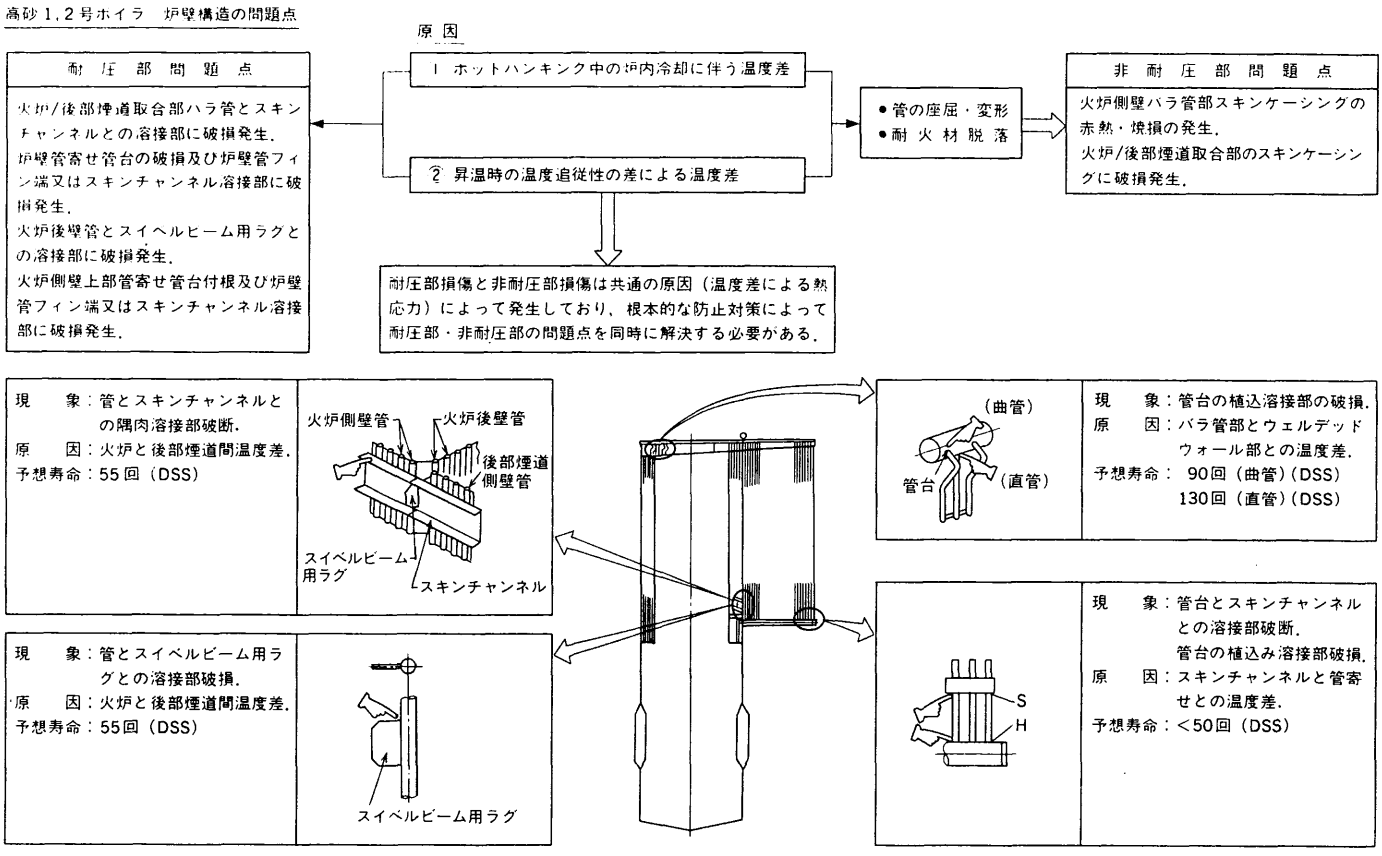


図2　代表的な炉壁構造の問題点
Typical problems of furnace wall structure

ッチの広い部分が生じた．このため火炉壁の大部分はガスタイトなメンブレンウォールで構成されているのに対し，コーナの一部は幅の広いフィン付管（ばら管）で構成され，スキンケーシングでガスシールが行われていた．

一方，後部煙道壁は，当時の最新の設計であったペグフィン付のばら管で構成され，スキンケーシングでガスシールが行われていた．

高砂2号ボイラ及び類似ユニットの炉壁の構造を図1に対比して示すが，A，Bユニットの炉壁の火炉部分は全面メンブレンウォールで構成されているが高砂2号ボイラの火炉壁はメンブレンウォールとばら管が混在する特異な構造となっている．

一方，昭和58年頃以降本格的な高頻度起動・停止の運用に伴いユニット全域において温度差に起因する故障が認められるようになった．図2に示す温度計測結果に基づく不適合懸念部位の例からも分かるとおり，高砂2号ボイラ固有の問題を含め高頻度発停に伴う高い熱応力の繰返しによる，耐圧部及び非耐圧部の損傷が懸念された．

高砂2号ボイラは各部位で寿命評価結果に対応し，不適合の発生が認められ，ボイラ全域にわたる問題解決のための抜本対策が望まれた．

3．耐圧部取替え計画

寿命評価結果を基に，今後30年の運用に対する寿命が短い部位を主に換装の対象とした．

その主な部位は火炉壁管，後部煙道壁管を中心に火炉入口管寄せ及び出口管寄せの一部，フロントハウジング内の上部隔壁入口管寄せ，一次過熱器出入口管寄せ，二次過熱器出入口管寄せ，過熱器減温器及び連絡管の一部，さらに一段再熱器出口管寄せ，二段再熱器出口管寄せの広域にわたるものとなった．これらの換装に伴い，主風道を含むダクト，バックステイ支持装置等の改善，取替えも合わせて行った．

高砂2号ボイラでは，新設火力並みの高頻度の起動停止に耐えるよう計画した．これらを可能とするために換装対象の耐圧部は従来の弱点部を一掃して最新の設計とするため次の改善を行った．

(1) 火炉壁，後部煙道壁は従来採用されていたスキンケーシング構造からすべてメンブレンウォール構造とし，かつ，フィン幅を狭くしてフィンが焼損することがないよう配慮した．

(2) 炉壁とテンションプレートの溶接構造を廃止して，キーパーラグ方式によるスライド構造とすることにより熱応力の緩和を図った．

(3) 各管寄せの管台はすべての部位で新設火力並みの発停回数に対する耐力を持たせるように管台部に十分なフレキシビリティを確保し，また，炉壁貫通部は二重スリーブとして応力の集中を避ける構造を採用した．

(4) さらに，管台の付根，フィン端の溶接部は熱応力の集中を避けるために滑らかな溶接端仕上げとした．

同時に炉壁，ダクトへの出入りが，より容易に行えるようすべてのマンホールの大型化を図った．特に炉底マンホールは炉内足場の搬出入を容易にするために幅850×高さ600 mmの大型のものを採用した．

(5) また，従来のマルチガンPMバーナから低NOx，低ばいじん型のシングルガンPMバーナへの換装も行いNOxの低減を図るとともに，バーナ周りの作業性，保守のスペース，パトロールのためのアクセス等，性能，保守性，安全性を考慮した設計，計画を行った．

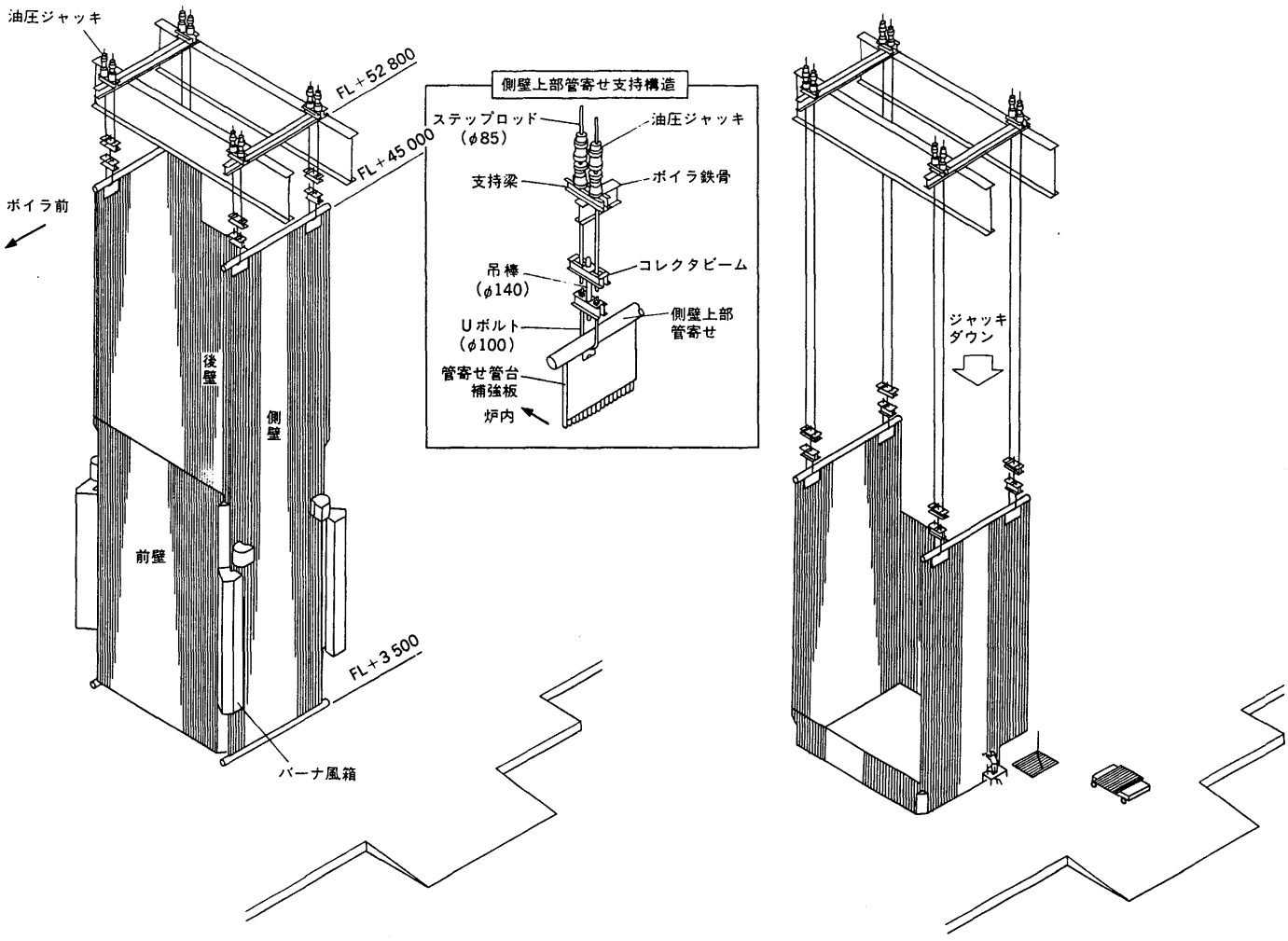


図3　ジャッキダウン工法による炉壁解体の概念
Concept of furnace wall disassembly by jack-down method

4. 工法の概要

炉壁の一括取替えを実施するに当たり，採用した“炉壁一体ジャッキダウン工法”の概要につき紹介する．

4．1　火炉壁の一体ジャッキダウン工法

既設ボイラ部品の撤去に当たっては，その解体方法に関して上下作業の回避，高所作業の低減などの安全面及び作業の効率等につき検討を行い，ジャッキにより一度に火炉壁を吊下ろす“ジャッキダウン工法”を採用することとした．この方法はボイラ最上階に仮設定された吊能力100 tの油圧ジャッキ8台により，ボイラ本体はもとより付属するバーナ及び風箱，バックステイ等も火炉壁と一体で吊下ろすことができ地上で撤去を行うことができる工法である．ジャッキダウン工法による炉壁解体の概念を図3に示した．この工法の採用で従来のように40～50ブロックに細かく分断して1枚ずつウィンチにより吊下ろし搬出する撤去方法に比べて半分の工期で撤去を行うことができた．また，切断，搬出の一連の撤去作業が地上で行われるため，“作業の安全性”が格段に向上でき，熟練したとび職が不足してきた近代に最もマッチした工法である．

4．2　ジャッキダウンの範囲及び重量

火炉壁及びそれに付属する機器一式で表1のとおりに大別される．

表1　ジャッキダウンの対象品と重量
Items and weight for jack-down

ジャッキダウン対象品	重　量 (t)
火炉壁パネル	200
管寄せ	10
バーナ及び風箱	85
風道，バックステイ	80
その他	55
合　計	430

4．3　ジャッキダウンのための補強

430 tのボイラ部品の一体ジャッキダウンに当たっては強風及び地震等ジャッキダウン中における自然災害に対しても考慮する必要があった．突発の横及び縦方向からの揺れに対するボイラ鉄骨の強度検討，並びに揚体であるボイラ炉壁の変形防止処置立案に対する検討のためコンピュータによるモデル解析を行い，ジャッキダウン中に揚体と鉄骨との干渉がないことを検討した．

4．4　ジャッキダウンの手順

ジャッキダウン工事はプラント運転中に行う先行工事とプラント停止後から始まる工事アイテムに大別される．

ジャッキダウンまでの手順は大筋次のようになる．

(1) 先行工事として実施した工事
　① ジャッキ設備の据付
　② その他の仮設工事関連
(2) プラント停止後
　① 天井ハウジング撤去
　② 火炉壁に接続する部分の切断

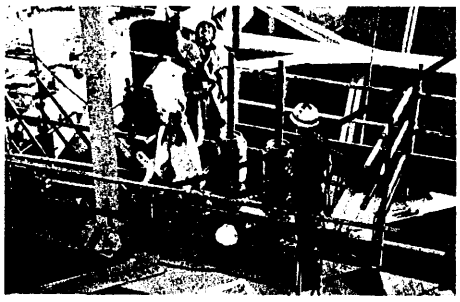


図4　ジャッキ据付
Installation of jack

図5　炉壁パネルジャッキダウン及び切断・搬出
Jack-down, cut and removal of furnace wall panel

図6　火炉側壁上部管寄撤去・搬出
Removal of furnace wall upper header

③ 火炉壁とジャッキ間の接続
④ 荷重移動
⑤ 本設吊棒撤去
⑥ ジャッキダウン・切断・搬出
⑦ ⑥の繰返し実施
⑧ ジャッキロッド撤去
⑨ ジャッキ設備撤去

実機においては工程のクリティカルとなるジャッキダウン開始から完了まで10日間で計画どおりに実施された．工事の状況を図4〜6に示す．

5．試運転結果について

今回の改造の効果を検証するため試運転時に耐力検証を実施した．この耐力評価部位選定のため，事前に以下のような検討を行った．

まず，今回改造の範囲から，形状不連続部に重点を置き，検討部位を抽出し，各々の部位の応力発生要因を次の二つに大別した．

(1) 自重，管内圧，炉内圧による応力及び負荷静定時における配管系の伸び差による応力
(2) 起動，停止時及び負荷変化時に発生する非定常熱応力

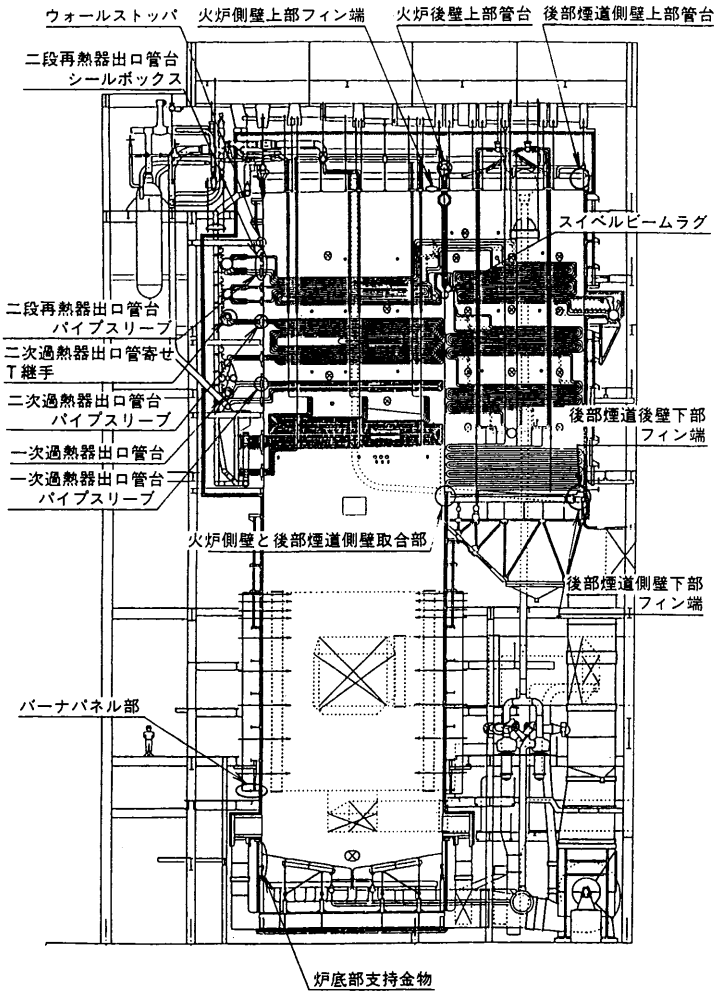


図7　耐力検証部位　耐力的に厳しいと予想される部位を事前検討により抽出した．
Structural endurance verification parts

これらの応力のうち(1)の応力は規格の許容応力を基に設計しているため，問題ないと判断されるが，(2)の応力については規格上の許容値がないため，特に疲労損傷の面からの検討が必要となる．したがって(2)の非定常熱応力が発生する部位，約80部位を耐力評価部位とした．

次に耐力評価部位について，予想発生温度差を基に寿命評価を行い，今後30年間の寿命消費量を算出した．その結果，寿命消費量が比較的大きく，実発生温度差等による評価が必要と判断された部位を耐力検証部位とした．

耐力検証は，図7に示す16部位について行った．これらの部位について，試運転時に温度応力計測を行い，実発生温度差，応力による評価を行った結果，すべての部位について，予想どおりの耐力を有し問題がないことを確認した．

また，同時に施工したシングルガンPMバーナの性能についても，従来のNOx発生量に対し予想どおりさらにNOx発生量が低減可能であることが確認できた．

8．む　す　び

以上記述のとおり関西電力(株)高砂発電所2号ボイラで実施した火炉壁を主とした取替工事の概要について紹介したが，2号ボイラに引続き平成6年9月には同発電所1号ボイラで同様の炉壁取替を主とした再生工事が鋭意進められている．