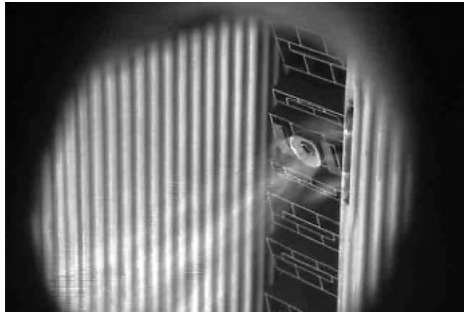


L型ボイラ(倒立型ボイラ)の実用化

Design for L-shaped Boiler



佐藤 進*1
Susumu Sato

丸田 得志*2
Tokushi Maruta

山本 健次郎*3
Kenjiro Yamamoto

菅沼 博*4
Hiroshi Suganuma

一ノ瀬 利光*5
Toshimitsu Ichinose

L型ボイラ(倒立型ボイラ)は、重量の大きい耐圧部を地上近くに配置することでボイラ鉄骨及び据付費用の低減が可能となる。特に高蒸気条件化に際してコスト増の主要因となる主配管が大幅に低減可能である。以下、L型ボイラの特徴について概説する。

1. はじめに

これまで、長期的には世界各国の発電及び送電容量は経済の発展とともに増加の一途をたどっている。また、新設発電プラントの単機容量も同様に大型化する傾向にある。その結果として大容量の新設発電プラントには省エネルギー・CO₂発生量削減の観点からより高いプラント効率を達成するため、超臨界圧プラントが主流となっている。同時にエネルギー消費パターンの多様化に伴い、機器の定格性能や高い信頼性だけではなく柔軟な運用特性や部分負荷での効率向上が求められる。現在では超臨界圧変圧運転ユニットが多く採用されている。このような背景において、当社独自の垂直管火炉壁超臨界変圧貫流ボイラは高い信頼性・運用性の要求に最も適した技術である。ボイラの主要な要素の一つである燃焼に対して現状の技術の枠にとらわれることなく、性能の更なる向上と据付費用の大幅低減及び保守性の大幅な向上を同時に可能とする倒立型火炉を採用したものがL型ボイラである。このL型ボイラと垂直管火炉方式を組み合わせることにより、性能、運用性、信頼性が向上したコンベンショナルボイラが実現可能となる。また、現在蒸気条件の向上に向けた開発が進められており、蒸気条件の向上に伴うコスト上昇の中で、主蒸気管・高温再熱蒸気管のコスト増加が大きく、伝熱部が地上近くに設置されるL型ボイラは、経済性に優れた特性を発揮できる。本論文では将来のコンベンショナルボイラの標準型候補であるL型ボイラの概要及び特徴について紹介する。

2. 開発の沿革

L型ボイラは、1950年代末から1960年代にかけて欧州及び米国にて、1960年代後半にはオーストラリ

アにて新設プラントが建設される等、過去に取り組みられた技術改善の一つである。1960年代後半以降、ユニット大容量化・超臨界圧化・高蒸気条件化に対応した技術開発が主体となり、その後低NO_x・低未燃分燃焼を主とする環境性能向上のための技術開発が主体となった。

当社においては、燃焼性能・運用性・メンテナンス性の面でL型ボイラの優れた特性に着目し、1990年代初頭よりL型ボイラの開発を実施した。図1に示すとおり実機調査、フィージビリティスタディ結果を踏まえた各種シミュレーション等を駆使して実機の構想をまとめた。その後、長崎研究所1/10スケール炉燃焼炉での各種燃焼試験を実施し、倒立型火炉微粉炭燃焼の特性を把握した。同時に運転中のL型ボイラの実機運転データを用いて燃焼流動シミュレーションの予測技術に取り組んだ。これらの成果を踏まえ、シミュレーションによる運転特性の検証及び構造検討を含め、350 MW級微粉炭焚きL型ボイラ設計を完了した。

また、その後重油を含めた低品位液体燃料について

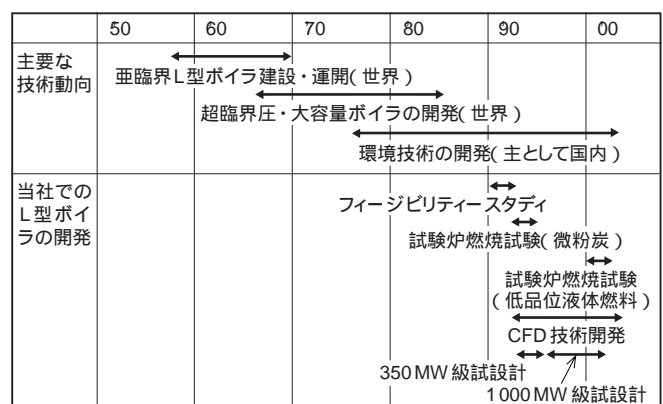


図1 当社でのL型ボイラ開発経緯

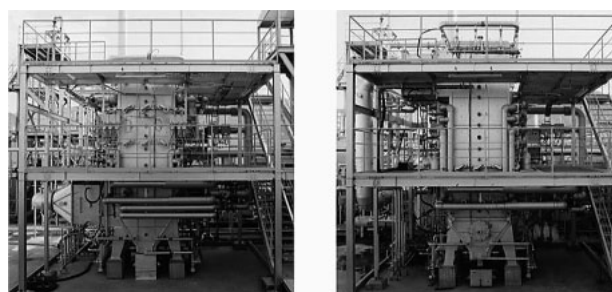
*1 原動機技術本部ボイラ技術部部長

*2 原動機技術本部ボイラ技術部ボイラ技術一課長

*3 原動機技術本部ボイラ技術部ボイラ技術一課主席

*4 原動機技術本部ボイラ技術部ボイラ技術一課

*5 技術本部長崎研究所火力プラント研究推進室主席



L型(倒立型) 従来型(正立型)

図2 1/10スケール燃焼試験炉

も1/10スケール燃焼炉試験(図2)を実施し燃焼特性を把握した。これにより、L型ボイラでの多様な燃料への対応が燃焼シミュレーションの併用により可能となった。さらに、単機容量の増大傾向に対応するため、1000 MW級L型ボイラの構造検討を実施し、従来の正立型ボイラと比べて、大幅なボイラ鉄骨量低減が可能となる火炉中間部支持構造を確立した。以上のとおり、現在は直ちに実機への適用が可能である。

3. L型ボイラの特徴

(1) 燃焼性の向上

L型ボイラではバーナが火炉上部に配置され、燃焼ガスは火炉内を鉛直下方へ流れることとなる。したがって燃焼ガスには、ガス流れによる下向きの慣性力と火炎に作用する上向きの浮力が逆方向に働くこととなり、火炎の鉛直方向の圧縮による高密度化が実現されることで着火点がバーナへ近づく。その結果、低酸素燃焼領域の早期形成が加速されて、NO_x還元域生成が促進される(図3)。さらに、火炎高密度化の効果で燃焼性が向上するとともに、燃焼ガスの混合が改善されることから火炉内燃焼ガス温度分布が均一化される。従来より、当社が採用している巡回燃焼方式では対向燃焼方式と比べて低NO_x・低未燃分の燃焼性能が優れ、火炎の壁面への衝突が少なく、スラッシングや火炉壁還元腐食に対して有利である。この巡回燃焼方式とL型ボイラを組み合わせることで巡回燃焼方式の優れた均一混合燃焼特性をより強く発揮することができる。

(2) ボイラ鉄骨量低減

従来の正立型ボイラでは、ボイラ伝熱部の大半がボイラ上部に設置される。L型ボイラの場合、ボイラ伝熱部は地上近くに配置されることから、伝熱部を支持するボイラ鉄骨の負担が大幅に軽減され、ボイラ鉄骨重量は従来の正立型ボイラの約50%に低減される。

(3) 据付費用及び据付期間低減

従来の正立型ボイラの場合、現地据付工事におい

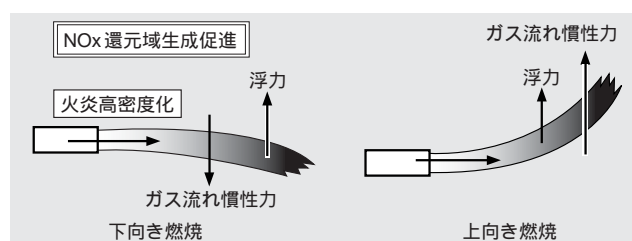


図3 浮力と慣性力の関係

て重量の大きい主要な耐圧部を火炉上部レベルにまで引き上げて設置する必要がある。一方、L型ボイラの場合は主要耐圧部を地上近くに設置することから、火炉上方まで引き上げる必要が無く、重量物の吊上げ作業が大幅に低減される。これにより、据え付けに要する機材・費用が削減され、据付期間も大幅に短縮される。1000 MWのボイラで、据付期間が5ヶ月程度短縮可能である。

(4) メンテナンス性の向上

L型ボイラでは伝熱面が地上近くに配置されることから、点検作業にあたって従来の正立型ボイラと異なり、高い位置での足場組立・設置及び作業が不要となり、点検準備の作業量や期間が短縮され、点検が容易になり、保守性が大幅に向上する。この点は、特に微粉炭焚きボイラや低質燃料焚きボイラのように、高い稼働率を維持するためには適切な点検と保守が必須な条件であるボイラに適している。

(5) 耐震性向上

L型ボイラは、本体重量の大半を占める耐圧部伝熱面が地上近くに配置されることから重心が低くなり、耐震性が大幅に向上する。日本国内のように地震の多い地域により適するボイラである。

(6) 高蒸気条件化への適性

発電プラントの省エネルギー・CO₂排出量削減の観点から、日本及び欧州でUSCプラントの開発が進められ、既に600級の蒸気条件が実用化されている。さらに700級を目標とする蒸気条件の向上が検討されている。蒸気条件を向上させた場合、耐圧部の高級材使用範囲が拡大して設備費が増加する。その中で全体のコスト増加に対して特に主蒸気管・高温再熱蒸気管のコスト増加が大きき部分を占めている。L型ボイラは最終過熱器・最終再熱器をより地上に近いレベルに配置することができ、主配管長さが大幅に低減されて高蒸気条件化に伴うコスト増加を抑制できる。

4. L型ボイラ的设计

図4に微粉炭焚きL型ボイラ及び低品位液体燃料焚きL型ボイラの側面図を示す。

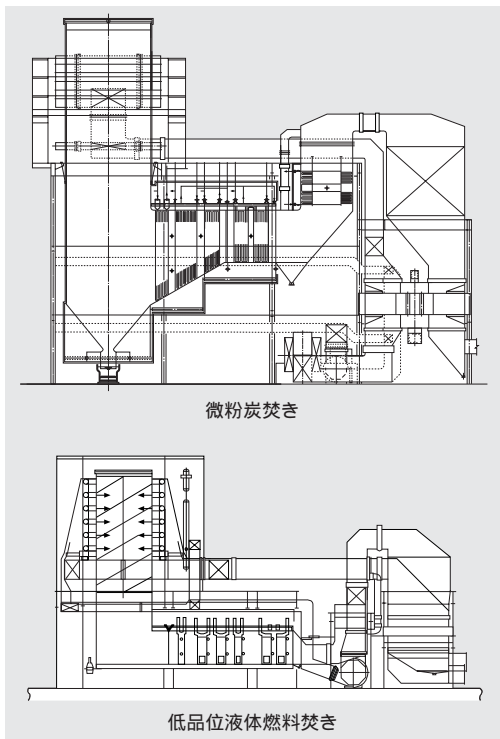


図4 石炭及び低品位液体燃料焼きボイラ

(1) L型超臨界変圧貫流ボイラの火炉壁構成

図5に、火炉壁管内流体の蒸気含有率及びDNB蒸気含有率を示す。L型ボイラでは、熱負荷の高いバーナ部が火炉上部に配置されることから、高熱負荷部で高い蒸気含有率となる。このため、平滑管ではDNB蒸気含有率に対する余裕が小さくなる。平滑管を採用しつつ、DNB蒸気含有率を確保するためには、スパイラル火炉壁管構造を採用し、かつ従来の正立型にスパイラル火炉壁管構造を採用した場合以上に管内流速を維持する必要がある。過大な管内流速を採用した場合、全圧力損失に占める摩擦損失の割合が著しく増大し、図6のとおり一部の火炉壁管での熱吸収量が増加した場合、摩擦損失が増大し、結果的に管内流量が減少して更に出口流体温度が上昇し、火炉壁管流動安定性を著しく損なう結果となる。すなわち、流動安定性の悪化は火炉壁出口蒸気温度のアンバランスを発生・助長させる原因となり、ボイラの信頼性を悪化させる要因となる。加えてBFP運転動力増加・給水系設計圧力増加等、経済性を損なう。一方、管内面溝付き伝熱促進管であるライフル管を用いることにより、高熱流束域でもDNB蒸気含有率に対する余裕を大きく確保することが可能となり、同時に垂直管火炉壁構造の採用が可能となる。この場合、火炉壁管の圧力損失に占める摩擦損失の割合が相対的に小さくなり、位置損失の割合が大きくなるため、火炉壁管内の流動安定性が向上し、高い信頼性が確保されることとなる。

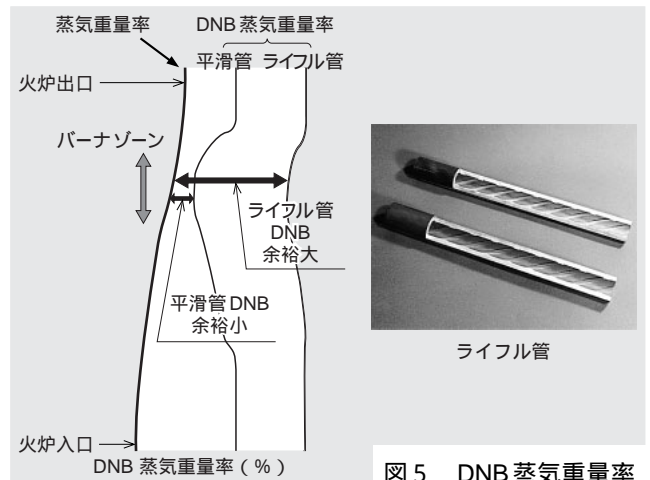


図5 DNB蒸気重量率

垂直管火炉方式 低質量速度	スパイラルリワード方式 高質量速度
吸収熱量増加 圧損減少 流量増加	吸収熱量増加 圧損増加 流量減少
<p>圧力損失</p>	<p>圧力損失</p>

図6 蒸気流動安定性

以上より、L型ボイラは正立型ボイラ以上にライフル管を使用する効果が大きい。

(2) L型亜臨界圧ドラム型ボイラの循環系統構成

亜臨界圧ドラム型ボイラにL型ボイラを適用した場合、循環系統としては強制循環型及び自然循環型が可能である。L型ボイラはバーナレベル近傍の高熱負荷部が火炉上部に位置することから管内流体が高蒸気含有率となるため、ドラム型ボイラの場合でもライフル管の採用が必要となる。L型ボイラにライフル管を使用する低循環比型強制循環ボイラの技術を適用することにより、一層の信頼性向上・火炉コンパクト化によるコストダウンが可能である。

(3) L型ボイラの火炉壁支持構造

L型ボイラは、重量の大きい耐圧部が地上近くに配置されることから、ボイラ鉄骨重量が大幅に低減される。その結果、火炉は従来の正立型のような上部吊り下げ方式ではなく、より低い火炉中間部にてそれより下方に位置する重量の大きい耐圧部を支持する構造の採用が可能となる。火炉中間部での支持構造・耐震性・火炉壁座屈強度等について動解析を含めた構造解析を実施し、解析結果に基づき、詳細構造設計を実施した。その結果火炉壁部分のボイラ支持鉄骨は従来の約50%に低減することが可能と

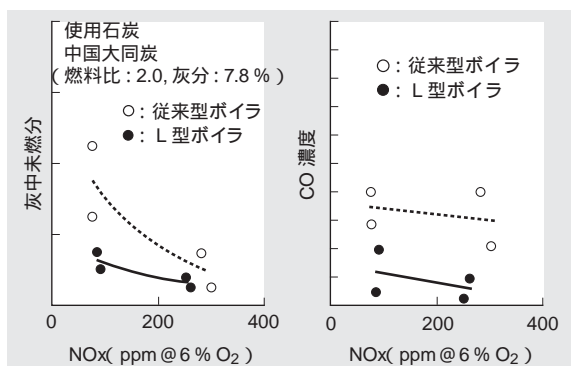


図7 1/10スケール燃焼試験炉試験結果

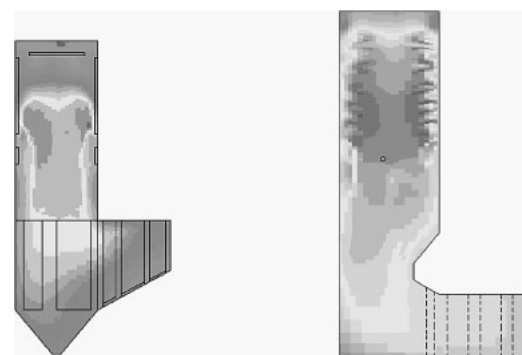


図8 火炉内燃焼・熱流動シミュレーション結果(ガス温度分布)

なった。

5. L型ボイラの検証

L型ボイラの検証は、次のステップで実施した。

(1) ラボレベルでの検証

既設L型ボイラの特徴・利点の評価

火炉内燃焼・熱流動シミュレーションによる効果の予測

燃焼試験炉での燃焼試験実施及び及びその特性の把握

(2) 実機での検証

350 MW ボイラでの実缶評価及びその燃焼・熱流動シミュレーション精度の検証

燃料・熱流動シミュレーションによる1000 MW 級ボイラでの燃焼特性予測

以下に、燃焼試験、シミュレーションの代表的な結果について紹介する。

(1) 当社1/10スケール燃焼炉での燃焼試験

L型ボイラでの燃焼は、従来の正立型ボイラと燃焼特性が異なることが予想されたため、長崎研究所の1/10スケール燃焼炉で、微粉炭及び低品位液体燃料での燃焼試験を実施した。図7に石炭での燃焼試験結果を示す。L型ボイラでは火炎の高密度化により、NOx・未燃分特性はともに正立型より向上することを確認した。

(2) 燃焼・熱流動シミュレーションによる実機性能予測

実機スケールL型ボイラの燃焼特性把握のため、燃焼・熱流動シミュレーションによる予測を行った。1/10スケール燃焼炉での測定結果を燃焼・熱流動シミュレーションにより解析を実施し、シミュレーション精度の向上を図り、その結果を踏まえ実機スケールL型ボイラの燃焼・熱流動予測を行った。図8に実機のシミュレーション結果の例を示す。試験炉での実燃焼試験及び実機スケールでの燃焼・熱流動シミュレーションでの燃焼特性検証の他、1000 MWの実機スケールの構造検証・設計も完了

しており、現在は実機への適用が可能な段階となっている。

6. ま と め

L型ボイラは、燃焼性能向上や、構造的な特徴に基づく土建据付までの建設費を含めた大幅なコストダウンが可能である。特にその構造的な特徴から、より高い蒸気条件のコストダウンが可能で、さらに良好な燃焼性及びメンテナンスが容易な構造から、石炭のみに限らず多種多様な燃料にも適合するボイラである。特に世界の主流となっている超臨界圧変圧貫流ボイラに当社のみが実缶ノウハウを有する垂直管火炉技術を組み合わせることで、従来の正立型コンベンショナルボイラの性能・信頼性・経済性を大きく上回る技術となる。コンベンショナルボイラ技術が成熟した段階にある現在L型ボイラは革新的な先進技術である。

参 考 文 献

- (1) K.Yamamoto et al., Operational Experience and Optimized Furnace Configuration of Supercritical Sliding Pressure Operation Coal-Fired Boiler, Presented at Power-Gen Asia in Ho Chi minh, Vietnam (2003)
- (2) 丸田得志ほか, 垂直管形超臨界圧変圧運転ボイラ単純構造・高信頼性, 三菱重工技報 Vol.40 No.4 (2003)



佐藤進



丸田得志



山本健次郎



菅沼博



一ノ瀬利光