

石炭焼き発電技術の高効率化の現状と展望

Latest Technologies of High Efficient Coal Fired Thermal Power Plants and Future Prospect



橋本 貴雄*¹
Takao Hashimoto

田中 良典*²
Yoshinori Tanaka

外野 雅彦*³
Masahiko Hokano

平崎 大二郎*⁴
Daijiro Hirasaki

近年の原油価格高騰を背景に発熱量当たりの単価が比較的安く、価格の変動も少なく安定している石炭は今後とも利用拡大が予想される。一方で石炭、LNG、石油などの化石燃料を用いる火力発電の2005年度の国内年間発電電力量に占める割合は約6割を占め、発電に伴う温室効果ガス排出抑制には火力発電からのCO₂排出抑制が最も重要である。石炭は年間発電電力量の約25%を賄っており、地球温暖化問題への対応からも、高効率化によるCO₂排出抑制への取組みが必要である。

1. 石炭焼き発電技術の高効率化の現状

図1に示すとおり従来の火力発電方式では、単機容量の増大と熱効率の向上を目的として蒸気条件の高温高圧化が進められている。

東京電力(株)広野火力発電所5号機は、世界最高水準である24.5MPa×600/600℃の超々臨界圧条件(USC: Ultra Super Critical)を採用した最新の石炭火力発電設備であり、2004年7月の商用運転以降、信頼性の高い運転を継続している。

この最新の石炭火力の効率は発電端で43%(HHV基準)であり、従来に比べCO₂排出原単位を約3%低減可能となった。

1.1 タービン

図2に示すタービンは、高圧・中圧タービンを一体

フレームとしたコンバインド車室と、低圧タービン1車室とから構成される600MW級初の2車室タービンである。高中圧タービンは、高蒸気条件に対応するために実績で培った高温材料・冷却構造を採用し、性能及び軸系信頼性の観点から翼列とフレーム体格の最適化を図り、コンパクトな設計を実現している。また、低圧タービンには、スチール48インチISB(Integral Shroud Blade)翼や、高性能排気室、軸受基礎支持構造等の高性能・高信頼性技術を採用している。

高温用材料として高中圧一体ロータには改良12Cr鍛鋼、内部車室には12Cr鍛鋼、タービン入口弁及び弁と車室の接続管には9Cr鋼を採用している。ロータ中央部及び中圧入口翼溝部の冷却は、调速段出口よりロータに沿って中圧タービン側へリークする蒸気によって行っている。また、中圧タービン外部車室内面が600℃の再熱蒸気に直接触れないようサーマルシー

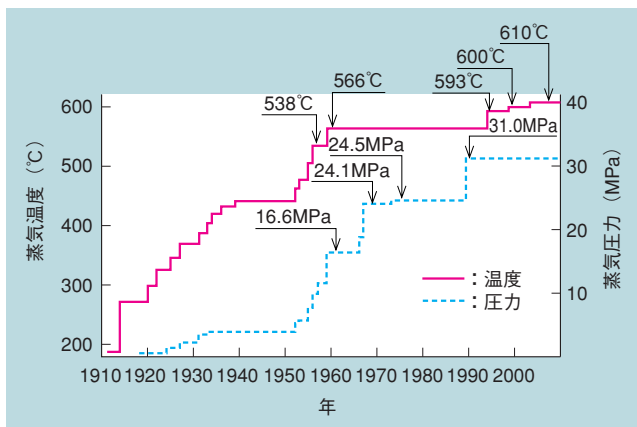


図1 火力発電プラントの蒸気条件の変遷
近年の蒸気条件は圧力は31MPa、温度は610℃まで向上している。



図2 広野5号機タービン外観

*¹ 原動機事業本部火力プロジェクト部長
*² 原動機事業本部蒸気タービン統括技術部タービン開発グループ主席

*³ 長崎造船所ボイラ技術部ボイラ技術一課長
*⁴ 原動機事業本部火力プロジェクト部プラント技術課

ルドを設置し、外部車室との空間に高圧タービン排気からの冷却蒸気を導入している。

1. 2 ボイラ

図3に示すボイラには高温化対応材料、ライフル管を使った垂直管型火炉の他に、三菱旋回燃焼にA-PM (Advanced-Pollution Minimum) パーナ、及びMRS (Mitsubishi Rotary Separator) ミル適用による低NOx・低未燃分燃焼技術を採用している。

2. 次世代超々臨界圧プラント (A-USC) の開発

近年ではCO₂排出抑制が世界的な緊急課題となっており、火力発電所の蒸気条件を一層、高温高压化することで高効率化を図ることは、CO₂排出抑制の有効な手段である。欧米諸国と同様に我が国でも700℃級のA-USC技術開発を国プロとして推進しようとの動

きがあり、送電端効率として46% (HHV基準) を目論んでいる。ただし、今後A-USCを商用化するためには高温高压化に適応する材料の開発・実用化と、それに伴う製造技術の開発、信頼性・経済性を考慮した設計の確立などの課題が挙げられる。図4に示すとおり、現在計画されているスケジュールでは、材料開発などの要素開発から実缶試験などの検証試験までの期間を9年間としている。実証試験については5年間を見込まれているが、具体的な規模については現状未定である。

2. 1 材料開発

700℃級の条件下においては、従来の材料とは異なる高温強度を有する材料の開発が必要である。従来のUSCで採用されているフェライト鋼やオーステナイト系ステンレス鋼では700℃級の温度領域においては強度不足である為、A-USCボイラ及びタービンの主要材料として十分な許容引張応力を有するNi基あるいはFe-Ni基合金の適用が不可欠と考えられている。

タービンロータ候補材料としてはタービン各メーカーが独自開発を行っており、当社では低熱膨張性を指向したNi基合金LTES700Rを開発している。

また、ボイラ材料としてはNi基合金であるAlloy 617, CCA617, Haynes230, Alloy 740, Nimonic 263のほか、近年、日本で開発中のFe-Ni基合金であるHR6Wが挙げられる。

これらの材料開発において長時間のクリープデータや熱疲労のデータ蓄積・評価とともに、信頼性向上のための高温下での長時間使用に伴う材料特性の把握が必要である。また、高価なNi基合金を適用するため、

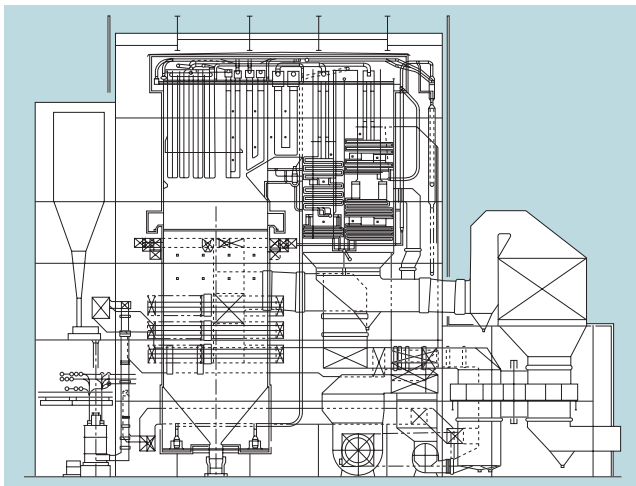


図3 広野5号機ボイラ側面図

| | | 1年目 | 2年目 | 3年目 | 4年目 | 5年目 | 6年目 | 7年目 | 8年目 | 9年目 | |
|-------------------|----------------|--------------------|------------------------|-------------------|------|----------|--------|-----|-----|-----|--|
| システム設計 | システム設計, 設計技術開発 | 基本設計, 配置最適化, 経済性試算 | | | | | | | | | |
| 要素開発 | ボイラ | 材料開発 | 大径管, 伝熱管用新材料開発, 材料改良 | | | | | | | | |
| | | 材料製造性検証 | 溶接技術開発・試験, 曲げ試験 | | | | | | | | |
| | | 構造・要素技術 | 冷却, シール等要素技術開発 | | | | | | | | |
| | タービン | 材料開発 | 材料改良仕様策定等 | 実サイズ部材試作 | | | | | | | |
| | | | ロータ, ケーシング等の大型溶接技術, 試作 | 高温長期材料試験 (3~7万時間) | | | | | | | |
| | | 高温弁 | 構造・要素・材料開発 | 試設計 | 試作 | | | | | | |
| 実缶試験・回転試験 (高温弁含む) | | 設備計画 | | | 設備設計 | 設備製造, 据付 | 試験, 評価 | 実証機 | | | |

図4 A-USC技術開発 国プロセススケジュール案

適用範囲を極力小さくし、経済性を確保する設計手法の確立も重要である。

2. 2 製造技術の開発

前述の材料を適用する上で加工技術、溶接技術、検査技術などの製造技術の開発が課題として挙げられる。

- ① タービンのロータ材を Ni 基合金で製作するには、Ni 基合金の大型鋼塊製造性の向上が要求される。また、経済性の観点から、高温部位に Ni 基合金、比較的温度の低い両端部に高 Cr 鋼を適用した溶接ロータを実現する溶接技術や溶接部検査技術の確立が必要である。
- ② 主蒸気管及び再熱蒸気管はフェライト、オーステナイト鋼に代わり Ni 基合金または Fe-Ni 基合金が適用されるが、高温下で高強度を有する材料の曲げ加工技術の確立が必要である。また、これら材料及び異材継手の溶接材料の開発、溶接施行法の確立、溶接条件の最適化、継手の組織、強度、靱性の把握、熱処理方法、溶接部検査手法などを含めた総合的な検証が必要である。

2. 3 構造上の考慮

- ① 主蒸気管及び再熱蒸気管には Ni 基合金、Fe-Ni 基合金が適用されるが、従来のフェライト鋼に比べ熱伸び量が大きくなるため、配管ルートや系統構成への配慮が必要となる。
- ② 高温部に付随する弁類は高温高压化に伴う熱応力の増加により摺動部の作動性、締切性、シール部の耐久性など、構造的な信頼性を確保する必要がある。
- ③ ボイラに付随する過熱低減器については高蒸気条件下で温度の低いスプレイ水と混合されるため、発生する繰り返し熱応力に対し構造上の配慮やノズル材質の検討を行う必要がある。

- ④ タービンについても材料開発のみならず高温部の冷却や熱応力低減を含む構造面での開発が不可欠であり、Ni 基合金の材料強度に応じた冷却構造の検討が必要である。

3. ま と め

石炭火力による我が国のエネルギーセキュリティの確保と A-USC の高蒸気条件を実現化する上で不可欠な新材料及び製造技術の確立のための継続的な研究開発は緊急課題である。それにより火力発電における熱効率の向上、CO₂ 削減を達成させ、地球温暖化に対して貢献出来る革新的な技術開発が必要である。

参 考 文 献

- (1) 門馬昌弘ほか、最新鋭石炭焼き 600MW 発電プラント“東京電力(株)広野火力発電所 5号機”の営業運転開始、三菱重工技報 VOL41 NO.5 (2004) p.264
- (2) 日本機械学会、700℃級超々臨界圧 (A-USC) 発電技術に関する調査研究分科会 成果報告書、P-SCD353 (2007) p.1



橋本貴雄



田中良典



外野雅彦



平崎大二郎