F205 先進型超々臨界圧タービン技術

Advanced ultra super critical steam turbine power generation system

○ 須賀 威夫 (東芝)
 今井 潔 (東芝)
 正 犬飼 隆夫 (東芝)
 正 池田 一隆 (東芝)

正 高橋 武雄 (東芝)
 山田 政之 (東芝)
 正 山下 勝也 (東芝)

Takeo SUGA, Takeo TAKAHASHI, Kiyoshi IMAI, Masayuki YAMADA, Takao INUKAI,
 Katsuya YAMASHITA, Kazutaka IKEDA,
 Toshiba Corporation, Shibaura 1-1-1, Minato-ku, Tokyo

Plant efficiency enhancement is indispensable in order to reduce CO₂ emission. Improvement of steam condition is the most effective for higher plant efficiency. In this paper, 700-degC class USC plant technology, especially the system design and materials for high temperature turbine systems, is discussed. It is believed that a 700-deg C class steam turbine system will be realized with Ni-based super alloys. It will be introduced two kinds of system. One system is 700-deg C class reheat temperature and 600-deg C class main steam temperature system which have a good level of thermal efficiency and require only light remodeling without the heavy use of Ni-based alloys. And one system is 700-deg C class main and reheat steam temperature system which have a high level of thermal efficiency.

Key Words: Steam Turbine, Ultra Super Critical Steam Condition, Turbine,

1. はじめに

近年、中国やアジア各国などの経済発展によりエネルギー需要が高まり、石油や天然ガスなどの化石燃料の価格が上昇している。この傾向はこれからも当分続くと思われ、将来的にも化石燃料の更なる価格上昇は必然的な様相を呈している。一方で、電力自由化が活発化されるなかで競争に打ち勝つため、安価な電力が今まで以上に求められている。

また、1997年に採択されたまま発効が永く見送られていた京都議定書が2005年に発効されるなど、世界的に温室効果ガスを削減する気運が高まりを見せている。日本国内でも環境税の導入が議論されたり排出権取引の導入が検討されたりするなど環境に対する取り組みが活発化している。

こうした状況下において、発電分野でも石油、天然ガス、石炭などの化石燃料を効率良く使用する技術の確立が非常に重要なものとなっている。なかでも、豊富な埋蔵量で安定的に供給が可能な石炭を効率的に使用する技術が従来以上に重要な役割を担うと考えられる。その技術の例として、図1に示すように石炭ガス化複合発電技術(IGCC)や超々臨界圧(USC: Ultra Super Critical condition) 汽力発電プラントの高効率化が挙げられる。ガスタービンをを用いたIGCCは石炭を使う上で洗練された方法の一つであり、現在日本国内でも国家プロジェクトとして開発が進められている。現有技術であるUSCプラント技術においても、蒸気条件を高温化して高効率化を目指す開発が今まで進められてきた。

本稿はUSC技術に関して、現在より更に蒸気条件を高温化させて大幅な効率向上を可能にした先進型超々臨界圧(A-USC: Advanced Ultra Super Critical condition) 蒸気タービンシステムについて紹介する。

Fig.1 Trend of thermal power generation

2. 先進型超々臨界圧タービン

汽力発電システムにおいては、長い間主蒸気温度 538℃、再熱蒸気温度 566℃のものが標準的であった。しかしプラントの高効率化を狙って1990年代から蒸気温度の高いプラントが登場し、最近では主蒸気 600℃/再熱蒸気 610℃のプラントが実現している。ここから更に温度条件を700℃級まで高温化させて熱効率を大幅に向上させるものが先進型超々臨界圧(A-USC) 蒸気タービン技術である。送電端熱効率は600℃級プラントで42%程度であるのに対し、A-USCプラントでは46%以上が期待できる⁽¹⁾。

ここでは再熱700℃級のシステムと主蒸気700℃級の各システムの特徴について説明する。図2にA-USCプラントのシステムの構成概略と開発課題を示す。

Fig.2 A-USC system

再熱 700℃級では、再熱蒸気系統のみを 700℃級に高温化して冷却技術と組み合わせることで、高価な Ni 基材料の適用範囲を IP タービンのごく一部、再熱蒸気管、再熱弁に限定する。そして、主蒸気管、主蒸気弁、HP タービンに従来と同様のフェライト系鉄鋼材料を適用する。再熱 700℃級の A-USC システムは、開発範囲を必要最小限に抑え且つ経済性に優れていることが特徴であり、早期実用化が期待できる。蒸気条件 24.1MPa/610℃/720℃一段再熱式のシステムでは送電端効率 43%以上が期待できる。開発課題としては、再熱弁クラスの大型機器の Ni 基材料による製造性検証、Ni 基材料製の製品の材料特性検証などが挙げられる。

主蒸気 700℃級では、経済性などを考慮しつつ更に高い熱効率を得ることを重視して温度条件を高温化する。主蒸気および再熱蒸気を共に高温化するため、蒸気タービンおよび付属機器の材料として主蒸気管、再熱蒸気管、主蒸気弁、再熱弁、タービンロータの一部、ケーシング等に Ni 基材料を適用する必要がある。蒸気条件 35MPa/700℃/720℃/720℃二段再熱式のシステムでは、46%以上の高い送電端効率が期待できる。開発課題としては、再熱 700℃級と同様に、Ni 基材料による大型機器の製造性検証が挙げられる。また、タービンロータに適用する材料としても Ni 基の鍛造材料の開発が必要になり、主蒸気 700℃級の A-USC 蒸気タービンを実現するために重要な開発ポイントになる。

3. Ni 基材料製大型製品の試作

A-USC システムの開発課題である Ni 基材料の大型製造技術を検証するため、再熱弁ケーシングの実寸大試作品を実際に製造した。実寸大試作品の写真を図 3 に示す。試作に使用した Ni 基材料としては、事前に実施した材料基礎試験の結果を精査して数種類の候補材料の中から最適な材料を選択し、重量約 3.5 トンのモデルを鋳造した。現在試作品の材料特性等を検証中である。

また、主蒸気 700℃級タービンロータへの適用を想定し、高温条件に於いて高強度を保つことができ、且つ鍛造に適した Ni 基材料も開発中である。図 4 に新たに開発した鍛造材料 TOS 1X の重量約 7 トンの大型試作品を示す。この試作により大型鍛造品としての製造性を検証するとともに、材料試験を行い TOS 1X が高いクリープ強度を持つことを確認した。なお TOS 1X の開発および大型試作は NEDO からの委託プロジェクト「エネルギー使用合理化技術戦略的開発/700℃超級超々臨界圧発電用蒸気タービン新材

料の研究開発」において実施したものである。

Fig.3 Full size model of reheat valve (3.5ton)

Fig.4 Full size model of turbine rotor (7ton)

4. まとめ

燃料の高コスト化が進み、環境に対する関心が高まっている状況下において、発電プラントの高効率化は極めて重要な課題である。先進型超々臨界圧 (A-USC) タービンプラントは特に石炭火力の高効率化の技術として非常に有用であり、エネルギーセキュリティと地球環境対策の両立に有効な発電技術であると言える。

エネルギー使用量削減や CO₂ 排出削減の課題は日本国内のみならず世界的にも緊急性の極めて高い課題となっており、本稿で紹介した技術がその課題解決の一助となることを期待する。

参考文献

- (1) 700℃級超々臨界圧プラント (A-USC) 技術開発 - 経年石炭火力発電所の高効率化とそれに伴う CO₂ 排出削減研究 - 成果報告書, エネルギー総合工学研究所 (2006)