再熱プラント用船用主ボイラ*

結 城 貴 譜** 内 田 勲** 天 野 正 広**

Main Boiler for Marine Reheat Cycle Plant

Takatsugu Yuki, Isao Uchida, Masahiro Amano

Since the steam turbine plant has the flexibility of fuel selection [oil only, gas only or dual] so most propulsion plants for Liquid Natural Gas (LNG) Carriers have been up till now, steam turbine. However, what with the rising prices of fuel and the shortage of steam turbine engine room crew, investigation into a higher efficiency propulsion plant has been growing. Actually, a lot of LNG carriers, for European owners, have adopted a dual fuel diesel engine plant with an electric propulsion motor (DFE). Many large size LNG carriers (200,000 m³) being built in Korean shipyards have recently adopted a diesel engine plant with a re-liquefaction system (DRL). Under these circumstances we propose a new high efficiency plant. The Ultra Steam Turbine (UST) plant offers advantages over conventional steam turbines; high reliability, safety, low maintenance cost and easy operation. The restitution of the steam turbine plant contributes to the recovery of market share and the exploitation of new markets. In this paper we introduce the outline, features and key technology about the development of the reheat boiler, that which is one of main components of the UST plant.

1. はじめに

これまで液化天然ガス運搬船では推進機関として、気化ガスの処理等の観点から蒸気タービンプラントを採用していた。しかしながら、昨今の燃料費高騰や蒸気タービンプラント船の船員不足等から、中速混焼ディーゼル発電機を使用した電気推進の DFE 船や、LNG 再液化装置を搭載し 2 サイクル低速ディーゼル機関を推進機関とした DRL 船が登場している。

一方で、既存の蒸気タービンプラントには実績に裏づけられた運航上の信頼性、保守性、操作性はあるものの、プラント効率がこれら新規プラントに大きく差をつけられており、その向上が急務の課題であった。

そこで、当社は従来の船用蒸気タービンプラントが持つ高い信頼性並びに保守作業性、操作性の良さを維持しつつ、プラント効率の大幅改善を計った Ultra Steam Turbine (UST) プラントを開発した。

本稿ではこの UST プラントで採用される主ボイラを紹介する。

2. プラント概要

従来の船用蒸気タービンプラントは構成が比較的単純な 2 段給水加熱の再生サイクルが主流であった。

また、主蒸気条件も数十年前より圧力 6.0 MPa、温度 510℃が一般的に採用されている。図 1 に船用プラントと陸用プラントの主蒸気条件の変遷を示す。

図 1 船用及び陸用における主蒸気条件の変遷

図 1 にも示すとおり、陸用では既に発電所等において超臨界圧、蒸気温度約 600℃のプラントが数十年前より採用されていたが、船用プラントでは信頼性あるいは実績が重要視されたため、これまでプラント効率

*原稿受付 平成 19 年 8 月 31 日.

** 三菱重工業 (株) 長崎造船所 (長崎市飽の浦町 1-1) .

の更なる向上等には消極的であった。

以前油タンカー船等にて再熱再生サイクルを採用し、プラント効率の向上を狙った船も数隻あったが、ディーゼル推進の台頭と共に現在ではプラント効率向上のための主蒸気条件の変更やプラント構成の変更は行われていない。

上記のとおり、現在では船用で採用されている主蒸気条件あるいはプラント構成が決して最適とは言えない状況となっている。そこで、本 UST プラントでは再度主蒸気条件及びプラント構成を見直すことによって、プラント効率の向上を行った。図 2 に従来プラントと UST プラントの比較を示す。

主蒸気条件は陸用プラントでの実績を考慮し、更に国際規格のフランジレーティングを満足する条件として、ボイラ過熱器出口にて $10.0 \text{ MPa} \times 560^\circ\text{C}$ と高圧・高温化した。また、プラント構成はこれまでの 2 段階水加熱の再生サイクルに加えて再熱器及び中圧タービンを新たに追加した再熱サイクルを採用する。これらによって、プラント効率を 12% 以上向上させることを実現している。

	CONVENTIONAL PLANT	UST
BOILER STEAM CONDITION (at superheater outlet)	6.0 MPaG X 515 °C	10.0 MPaG X 560 °C
STEAM FLOW	BOILER → HP TURB → LP TURB	BOILER → HP TURB → REHTR → HP TURB → LP TURB
FLANGE RATING	ANSI 900 LB	ANSI 2500 LB

図2 従来プラントと UST プラントの比較

3. 再熱ボイラの基本構造

UST では前述の通り、従来の船用タービンプラントに再熱サイクルを適用する事により大幅な燃費改善を計る。この再熱サイクルを適用するために、ボイラでは再熱器が新たに追加され、高圧タービンの排気を再熱器で再びボイラ過熱器出口温度まで再加熱し中圧タービンに導入する。

一般に船用の推進機関に採用される主ボイラには主に以下のような事項が要求される。

- ・信頼性と冗長性が高い。
- ・船内配置等を考慮しコンパクトかつ軽量。
- ・システムが簡素で保守や取扱いが容易。

更に、船用プラントは陸用プラントと異なり、頻繁な負荷変動や後進・荷役・スタンバイ時等に再熱器に

蒸気が流れない場合がある。このような状態でも再熱器チューブを焼損から守る必要がある。

再熱ボイラの型式としては種々考えられるが、主なものとして双炉型、ガスバイパス型、独立型等があげられ、各型式にはそれぞれ長所・短所等種々特徴がある。

当社では特に再熱器の保護あるいは信頼性に重点を置き、双炉型ボイラの内、再熱器分離型を採用することとした。図3に当社で開発した再熱ボイラの基本構成を示す。

図3 再熱ボイラ基本構成

本型式のボイラでは、燃焼ガスがより低温である燃焼ガス流路の出口部に再熱炉及び再熱器を設置しており、これにより後進時等の様に再熱器を通る高圧タービン排気が停止する場合においても再熱バーナを消火するだけで再熱器チューブの損傷は防止できるようになり、ボイラの連続運転が可能になる。

4. 再熱ボイラの特徴

4. 1 本体基本構造 ボイラ本体及びエコノマイザは従来のタービンプラントに採用されている当社製 MB 型主ボイラの基本構造を踏襲しており、ボイラ本体は耐圧部自身で剛性を保持し熱膨張に対して無理のない構造となっている。

UST 用主ボイラでは新たに燃焼ガス流路下流に再熱バーナを設置した再熱炉を設けており、主炉、再熱炉共に完全水冷壁構造を採用することで燃焼ガスに対し完全な気密性が保たれている。

また、蒸気ドラム、水ドラムには従来に比べ高強度の炭素鋼板を採用して高圧化に対応している。

図4 従来型ボイラと UST ボイラの構造比較

4. 2 過熱器構造 UST ではプラント効率を上げるため、従来のタービンプラントに比べて高圧・高温化を図っているが、これに伴い、過熱器伝熱面の増加による大幅な構造の見直し及び過熱器管の耐熱性向上のために高級材料の採用等が求められる。

本ボイラでは、従来ボイラと同型の過熱器をボイラ内部に二列並列に配置することにより従来型ボイラの特徴であるドレンの滞留防止やメンテナンス性をそのまま維持できる構造となっている。

また、内部蒸気温度が比較的高い二次過熱器を内部蒸気温度が比較的低い一次過熱器の後流に配置することにより(図5参照)、火炉からの輻射熱を直接受けにくくし(図6参照)、同時に一次過熱器による熱吸収によって燃焼ガス温度も低くなることから過熱器管壁温度を従来型の主ボイラと同等に抑えることができ、従来と同様にクロムモリブデン合金鋼の採用が可能となる。

図5 過熱器構造

図6 過熱器の配置位置

但し UST 用ボイラでは、昨今の燃料粗悪化による高温腐食の懸念にも対応するため、過熱器管壁温度が比較的高温となる部位には、バナジウムなどによる耐高温腐食性に優れたクロム含有率の高いステンレス鋼を採用し、更なる信頼性向上を図っている。

ステンレス鋼の採用にあたっては、過熱器ヘッドに従来同様のクロムモリブデン鋼を採用しているため、ヘッドとステンレス製過熱器管の接続は異材となるが、従来から陸用ボイラにおいて採用している構造と同様に異材継手を接続部に挿入し両者の確実な接続を実現している。

図7 過熱器ヘッド詳細構造

4. 3 再熱器の信頼性 再熱器は再熱炉下部に設置された再熱バーナを使用することで計画蒸気温度が得られるように設計されている。

しかしながら前述の通り、船用プラントは陸用プラントと異なり頻繁な負荷変動や、後進・荷役・スタンバイ時等に再熱器に蒸気が流れ無い場合や流れる蒸気の量が極端に減少する場合がある。このような状態の場合、再熱蒸気による冷却効果が少なくなり、再熱器管の表面温度が過度に上昇し、最悪再熱器管を焼損する恐れがある。

これらの問題点を解決するために、燃焼ガスがより低温である燃焼ガス流路の出口部に再熱火炉及び再熱炉を設置し、後進時等の様に再熱器を通る高圧タービン排気が停止する場合や再熱器を通る蒸気量が不足する(冷却効果が下がる)場合においても再熱バーナを自動消火させることにより再熱器が高温燃焼ガスにさらされないようになる。つまり、主火炉からの燃焼ガスが低温となるため再熱器管に対する影響は出ず、再熱器は完全に保護されることになる。

尚、再熱バーナ運転中においては再熱器入口における燃焼ガス温度が高温となるが、再熱器ケーシング構造を陸用における排熱回収システムで多数実績のある、内装保温方式とすることによって通常運転時も熱伸び差等から保護する構造としている。

図8 通常運転状態

図9 再熱バーナ停止時の運転状態

4. 4 環境性 図10及び図11に各種推進機関における排ガス成分の比較を示す。図10は通常運行時における排出ガス成分であり、燃料は全て気化ガスとなる。蒸気タービンプラントでは排出ガスがボイラからのものとなり、窒素酸化物の排出量が低くなる。更にUSTプラントでは、燃料消費量が低減されるため、更なる改善が見込まれる。図11は停泊時における排出ガス成分であり、蒸気タービンプラントにおいては油／ガスの混焼が可能であるが、DFE船では低負荷のため燃料が重油となり、通常運行時に比べNOx量は更なる増加することとなる。

図10 通常運行時における排出ガス比較

図11 停泊時における排出ガス比較

5. おわりに

最近の燃料費の高騰により LNGC 用推進機関の市場では燃費性能の追及のみに主眼をおいた状況となっているように思われる。しかし、蒸気タービンプラントにも最初に述べたような運航上の信頼性や保守性などの点にメリットがあり、それらを生かすべく新しい推進機関としてUSTプラントの開発を行った。