



ニュース

ガスタービン工場見学記

SCE・Net 田中貴雄

N-11

発行日

2012.9.25

エネルギー部会から化学工学会エネルギー部会熱利用分科会 第24回研究会、日本伝熱学会関西支部伝熱技術フォーラム平成24年度第1回例会 共同開催「化学再生発電システムならびにガスタービンに関する講演会と三菱重工高砂製作所見学会」の案内メールを受け取り、ガスタービンを見たく参加申し込みをしました。講演は13時に始まるので8月6日の午前中2時間程度の時間を利用して、財団法人日本城郭協会の選定する日本100名城にも選ばれている明石城に立ち寄りしました。明石城には江戸時代の初期から明治になるまで約250年の間時を知らせてきた“とき打ち太鼓“がありました。いまでは正門入口に、当時の武士の格好で、決められた時刻になると剣舞をしたり太鼓を打つロボットとして再現されています。写真は再現されたとき打ち太鼓ロボットです。明石城は別名喜春城、錦江城とも呼ばれます。元和3(1617)年に信州松本から明石に国替えとなった小笠原忠真が、元和4(1618)年に徳川将軍秀忠の命により明石城を築城しました。明石城は本丸の4隅を3層の隅櫓で固め、はじめから天守閣はありませんでした。4つの隅櫓のうち本丸の南東に位置する巽櫓と南西に位置する坤櫓が現存し、両櫓ともに国の重要文化財に指定されています。順路に従って城跡を登っていくと巽櫓に達し、脇の見晴らし台に立ち東を見ると明石海峡大橋が幽かに見えます。巽櫓と遠景の明石海峡大橋の写真を示します。この大橋は神戸市と淡路島の間を明石海峡を跨ぎ、10年の年月をかけて平成10(1998)年4月に、橋の長さは3,911m、中央支間長は1,991mの世界最大の吊り橋として完成しました。巽櫓から順路に従ってさらに進み坤櫓に達します。坤櫓の横に一段高くなった天守台があり、展望が開け市内を一望できます。城跡には塚、碑の類も散在します。順路を逆に山陽明石駅へ戻り昼食に明石名物の”蛸飯”をとりましたが、見つけ得ずファミレスのランチですませました。山陽電車に30分ばかり乗り高砂の次の駅の荒井で下車し、徒歩5分の講演会場である高砂社員クラブに12時50分頃に到着しました。高砂社員クラブは高砂正門前に位置し、正門から構内をのぞくとモニュメントの一つとして設置されている大きなタービン翼がよく見え



ます。高砂製作所の敷地面積は工場が 870 千 m²、研究所が 140 千 m² で両者を併せると 1,000 千 m² を超え甲子園球場（グラウンド面積 13 千 m² とスタンド面積 22.6 千 m² を併せた 35.6 千 m²）28 個分に相当します。因みに東京ドームは直径 244m の 46.8 千 m² です。

13 時からの講演会では主催者挨拶のあと早稲田大学 中垣隆雄教授による「化学再生発電システムの現状」と大阪大学 武石 賢一郎教授による「超高温産業用ガスタービンの開発—ガスタービン冷却技術の進展」の講演がありました。前者は高効率化の現状として東電資料からの 2007 年に川崎 1 号系列に熱効率は約 59% の 1500℃級の MACC が導入され、また燃焼温度によるエクセルギー率は 1600℃で 0.65、2000℃でも 0.7 であるので、高温化による効率向上も限界に近づいていることから、高温排熱を利用して燃料の化学再生を行い燃料の高度活用を図り、その化学再生システム例として、

メタンの改質 $\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2 - 165.1 \text{ k J/mol} \cdot \text{CH}_4$

DME の改質 $(\text{CH}_3)_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}_2 + \text{CO}_2 - 122.6 \text{ kJ/mol} \cdot \text{DME}$

の吸熱反応に高温排熱を利用して化学再生を行う手法が紹介されました。

後者は聴講者のほぼ半数が院生、学生ということで、ヘロンの蒸気機関をはじめ熱機関の歴史を振り返り、1600℃級ガスタービンの高温翼の冷却技術開発について最新のナフタレン昇華法を用いた実験と馬蹄渦や 2 次渦の非定常運動が翼端面の熱伝達に及ぼす影響を調べる数値シミュレーション等の紹介がありました。

講演会後の小休止の後、15 分程度の三菱重工 高砂製作所の紹介ビデオを見て、A、B 二班に分かれ、A 班からバスにて工場見学に向かいました。B 班は A 班を乗せたバスが帰ってくるのを待って A 班に 15 分程遅れて工場見学をしました。次の見学先へのバス移動（往復）の時間が説明時間となります。高砂製作所の主要製品はガスタービン、火力・原子力タービン、水車、ポンプ、大型冷凍機であり、原動機事業本部、冷熱事業本部が関連しています。今回の見学先は空気圧縮機、蒸気タービン用の大型ブレード、ガスタービンの高温ブレード、燃焼器、組立試験、ガスタービン組立の順にバス移動で見て回りました。関連する部品のサンプルを見て説明を受けたのち工場内のラインに沿った通路を出口に向かうと、そこに次の工場へ移動するバスが待っていました。

大型ブレードも 3 次元翼で、大きいものではブレード丈が 74 インチにもなりますが、これを型鍛造で製造し、翼先端をお互いにかみ合わせる ISB (Integral Shroud Blade) を採用しており、以前のリング状のシュラウドに翼の先端をはめ込んで固定する方法に比べ、この ISB の採用は組み立てもメンテを数段はかどっているとのことでした。ガスタービンの高温ブレードは、1600℃級では 1600℃の高温にさらされるのでこの翼の冷却のために翼の内部には冷却空気の通路があり、これを Ni 基の耐熱合金の精密鑄造で造り、空気吹き出し孔などの機械加工を施します。高温にさらされる 1 段目、2 段目の動翼・静翼共に遮熱コーティング (TBC : Thermal Barrier Coating) が施され、この TBC はメタルとセラミックの 2 層で合わせた厚さは約 500 ミクロンとのことでした。

燃焼器はガスタービンの高温化に伴い低 NO_x 化に腐心していました。組立試験では車

室とロータを組み付け調整していますが、ロータは一体ではなく各段のディスクを通しボルトで固定し、調芯する工夫がなされています。因みに M701G で軸受けスパンが 9,250mm のロータ重量は 100 トンにもなります。

ガスタービン組立では、ベッドが据えられる組立台は搬出を考慮してステージがつくられています。ベッドに車軸、空気圧縮機軸、燃焼器など諸々のものが取り付けられ上側ケーシングが組み付けられると完成が近くなります。完成品はこの工場ですべて直接船積みされて出荷されます。ここ高砂製作所では 30 台/年ベースの生産能力があり、昭和 36 年の製作開始以来五百数十台が出荷されています。海外物件では国情の違いにもよりますが製造から引き渡しまで約 2 年程度を要するとのことでした。ガスタービン組立工場を出たところにガスタービン複合サイクル発電プラント実証設備の建屋があり、姫路火力に納めるものと同型機の 1600℃級の M501J が実証運転をしていましたが、見ることはできませんでした。これで予定の見学コースは終了しバスで講演会場の高砂社員クラブへ戻りました。

この見学会の関係各位に厚く御礼申し上げます。

ここで、三菱重工技報 Vol.48 No.1(2011)から平成 22 年 7 月に営業運転を開始した東北電力(株)仙台火力発電所第 4 号機のガスタービンと蒸気タービンの温度等を見てみると、発電システムは 1400℃級のガスタービン M701F4 と蒸気タービン TC2F-40.5 と同軸上に発電機を配置した一軸再熱式コンバインドサイクルを採用しています。このシステム全体の出力は 446MW、ガスタービンのタービン入口温度は 1400℃級、蒸気タービンの高圧蒸気入口の圧力は 11.8MPa 温度は 550℃、再熱蒸気入口の圧力は 2.87MPa 温度は 566℃、低圧蒸気入口の圧力は 0.38MPa 温度は 249℃で回転速度は 3,000rpm です。

また、東京大学 先端エネルギー変換工学寄付研究部門 第 3 回技術フォーラム資料から、1400℃級、1500℃級、1600℃級の各コンバインドサイクル出力、ガスタービン出力、コンバインドサイクル熱効率、ガスタービン熱効率をまとめると次表の様になります。

50Hz

GT 入口温度	型式	コンバインドサイクル		ガスタービン	
		出力 (MW)	効率 (%)	出力 (MW)	効率 (%)
1600℃級	M701J	670	60.0 超	460	40.0 超
1500℃級	M701G	498	59.0	334	39.5
1400℃級	M701F3	450	57.0	303	38.2

一方、東京電力資料によれば東京電力の 2009 年の石炭、石油、ガスの熱効率を加重平均した火力発電熱効率は 46.9%でした。2006 年度の火力発電の熱効率が 40%を超えているのはイギリス/アイルランド：42.9%、フランス：42.3%、北欧：42.1%、韓国：41.1%でした。このように火力発電の熱効率向上には目を見張るものがあります。