

随 想

火力発電プラント用材料の今昔

佐々木 良 一\*

我が国における火力発電プラントは戦後先進国からの技術導入によつて建設が進められてきた。30年の間に蒸気条件はしだいに高温高压化し、またプラントは大容量化してきた。現在では1000MW級の超臨界圧プラントが多数建設され、発電の主力として極めて安定した運転が行われている(図1)。最近では超超臨界圧プラントの開発研究が行われている。技術導入時の1950年代前半から火力機器用材料に携り、プラントの高温高压化に伴う使用材料の変遷、特に構造材料の信頼性向上に深く関わってきた筆者にとっては誠に今昔の感にたえない。

当初は、技術提携先から入手される主要部材の材料規格が、我々にとっては全く新規なものであったため、なぜ、この部材にこの材料規格なのか、その技術的根拠が十分にのみこめなかつた。ともかくその材料技術情報の消化吸收、すなわち熱処理特性の理解、溶接性、溶接部の高温強度の確認に大わらわであった。ボイラー用材に関してはASMEの引張許容応力が定められていたが、それを設定した根拠となるデータは十分には把握されていながつた。裏付けデータを収集することにより、国産材について高温強度データを自らとる必要を痛感し、1950年代の中ばからクリープ破断試験設備の急速な充実を図つた。京都大学の故平修二先生の御指導で高温引張、クリープなどの試験法JIS規格原案の作成が進められた。その頃は国内の試験設備は極めて貧弱で、クリープ破断データの集積に関しては先進国に比べ20~30年遅れていた。しかし、今日では金属材料技術研究所のクリープ試験設備は世界一であり、鉄鋼メーカー、機器メーカーの試験設備も相当に充実してきた。これらを合計すると、我が国の高温材料に関する研究設備は諸外国をは

るかに凌駕した規模になつているものと思われる。当初はASMEの許容応力表にない材料は全く相手にされず、材料屋としてやり切れない思いをした。

アメリカにおいては火力発電技術の先駆者としての立場から、各種材料がかなり大胆に選定され、実用化されてきた。しかし、その過程においていろいろな事故を経験している。1950年代に、おもに蒸気温度1050°F(566°C)のボイラー過熱器に用いた18Cr-8Ni-Ti(321型)鋼管が使用中に膨出し、中には破損するという事故が生じた。調査の結果、事故を生じた鋼管はすべて結晶粒が微細(ASTM粒度No.8より細かい)であつたためクリープ破断強度が低下していたことが判明した。これを2000°F(1093°C)以上の温度で再熱処理すると結晶粒度はASTM粒度No.3~6程度に粗大化し、クリープ破断強度は著しく改善された。この鋼種の引張許容応力を定めるときに集められたデータは主として1100°C前後で固溶化処理された鍛造棒の試験材によるものが大部分であつて、細粒材のクリープ破断強度が十分確認されていながつた。使用された鋼管は冷間引抜後、細粒組織となる850~950°Cで熱処理されていたため上記のような事態になつた。我が国でも18Cr-8Ni-Ti鋼管は過熱器に使用されており、本件について鋼管メーカーおよびボイラーメーカーがそれぞれの立場から検討を加えた。この事故により、設計の基準値に用いる高温強度データは工業のプロセスで製造された実製品実体より採取した試験片によるべきであるとの貴重な教訓を得た。

以上の事例を通じて、我が国において国産材について独自の試験研究が必要であり、また、独自の耐熱鋼開発の余地があり、その必要があるとの認識が生まれた。国産材の10万h破断試験については金属材料技術研究所が産業界の要望を取り入れ、昭和41年から着手し、着々と世界的にも注目される貴重なデータを提供してきた。更に、近年になると我が国で開発された耐熱鋼が長時間データの裏付けのもとに、発電用火力設備の技術基準に認められるようになり、ボイラー用新材料の開発実用化の点でもようやく先進国並になつた。

また、タービンのローターに関しては1950年代前半に、表1に示すように先行プラントにおいて7件の破損事例が報ぜられていた。この頃のローターには、製鋼技術が未熟なために、白点、偏析、非金属介在物の偏在な

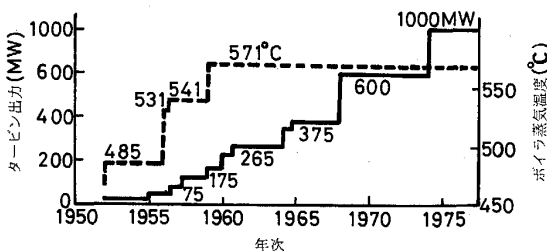


図1 火力プラントの変遷

表1 アメリカにおけるタービンローターの破損 (1950年代)

ローター	発電所名	年度	破損状況
低压	Ridgeland #4	1954	運転中に破裂
低压	ENESCA (スペイン)	1950	試験ピットで破裂
低压	Nijmjen (オランダ)	1950	運転中に破壊
低压	不明	1951	試験ピットで破裂
中圧	Shawnee #1	1954	翼植込部破壊
中圧	Weadock #1	1955	翼植込部破壊
中圧	Tanners Creek #1	1953	翼車破壊

\* (株)日立製作所日立研究所技術主幹  
(現:日立エンジニアリング(株))

表 2 ローター製造技術の進歩過程

おおよその年度	取り入れた技術
1958	電弧炉溶解, 真空鑄造
1959	低圧ローターに高靱性の NiCrMoV 鋼導入
1961	低圧ローターに水焼入れ採用
1961	低圧ローターに VCD* プロセスを広く採用
1970	高圧ローターに ESR***, VCD の適用

\*VCD 真空カーボン脱酸  
\*\*ESR エレクトロスラッグ再溶解

どを生じ, それに加えて材料そのものが低靱性であつた。また関係者の間に破壊力学の知識が欠けていた。そこで素材メーカーにおいては健全な清浄な鋼塊を得る努力が懸命になされ, 一方タービンメーカーでは非破壊検査技術, 特に超音波探傷技術の向上に努力した。幸いにして我が国では先行プラントでの教訓を十分に生かして製造されたので, 試験ピットでの破裂が一本あるだけで, 運転中のローターでは大きな事故の経験はない。ローター製造技術の大きな進歩過程を表 2 に示す。1970 年代に入ると, これらに加えて我が国では取鍋精錬技術の普及により, ローター材の品質は一段と向上した。また高圧ローターにも VCD が採用されるようになった。現在, 低圧ローター用の超清浄鋼 (Super clean rotor steel) の開発が EPRI (アメリカ, Electric Power Research Institute) の主導で進められている。この中で日本勢の貢献は著しく, その実用化も我が国が一步リードしている。EPRI の担当者は, 高級なタービンローター材に関してはもはやアメリカの鉄鋼メーカーは当てにできず, 日本と西独の技術に頼らざるを得ないと言明している。原子力タービンの低圧ローターにおいて, 焼ばめディスクのキー溝から粒界型応力腐食割れによりき裂が発生している。この根本対策として, 焼ばめディスク方式を廃して, ディスクとシャフトの一体型削り出しローターが採用されつつある。原子力用の大型一体ローターの素材を製造できるのは, 我が国のメーカーだけで, 既に我が国からアメリカに 50 本以上の一体型ローター素材が輸

出されていると聞いている。筆者は昭和 36 年にアメリカのベスレームスチール社にタービンローターの立会検査に出張した。当時はアメリカの技術が我が国よりやや進んでいた。今日における我が国のローター素材製造技術の進歩をみると, 全く隔世の感にたえない。

1100°F (593°C) 級のタービンローター材として, 我が国では従来の 12Cr 系鋼に比べ, クリーブ破断強度が一段と優れた改良型の 12Cr 鋼が開発されている。この開発で注目されることは, タービンメーカー各社が社内研究で有望な鋼種を開発し, これを電力会社の指導で共研の形で実機大ローターを試作し, 実証試験が行われたことである。タービンの心臓部に独自の材料が使えるなどとは, 「Exactly same as ……」と言われた時代には全く思いもよらないことである。新材料を開発し, その信頼性を実験データで裏付ければ採用されるのであるから, 筆者の若いころと違って, 今の材料技術者はやりがいがあり, 恵まれていると思う。593°C 級の 12Cr 系ローター材に関し, ヨーロッパでは共同開発が進行中であり, また, アメリカでは開発活動は非常に不活発で, この点も日本勢がリードしている。

低圧タービンの長翼に Ti 合金を用いる構想はかなり以前からあつた。EPRI が長年にわたり研究し, またフランスの Alstom 社などが 3000 rpm 50 インチ, 54 インチ翼を開発しているが, 本格的実用化には至っていない。我が国では中部電力(株)との共研でタービンメーカー 3 社がそれぞれ 3600 rpm 40 インチ Ti 合金翼を開発した。Ti 合金長翼の本格的実用化では我が国が世界の先頭を切るようになる。

以上のように, 導入技術を消化吸收し, 更に我が国独自の材料技術の開発が行われてきたことは誠に喜ばしい。ガスタービン材料については触れなかつたが, 電力の需給構造の変化に伴い, 機器および材料に対する要求も変化するので, 今後共いつそうの研さんが必要である。