

PART 2

高温構造部材における クリープ現象

発電プラントにおいて高温下で使用される耐熱鋼にとって、クリープ強度はきわめて重要な特性である。精度の高い寿命予測のために重要な役割を果たすのがクリープデータシートの蓄積である。

クリープ試験のようす(独)物質・材料研究機構(HI黒)

時間と荷重の中で静かに進行する 高温クリープ

クリープとは、外部から力が加わることにより、時間の経過とともに徐々に物体が変形する現象である。鉄鋼材料だけでなく、他の金属材料やコンクリート、岩石、ポリマーなどでも起こる。

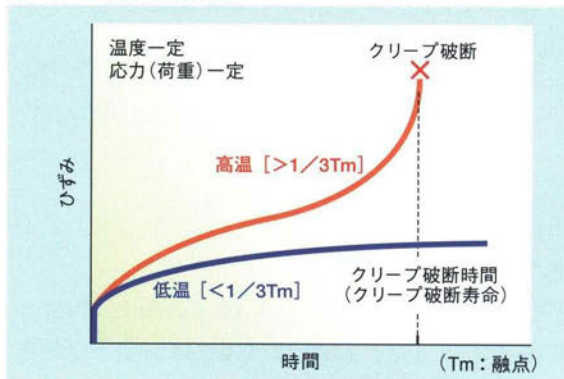
材料に見られるクリープ現象は、低温ではクリープ速度(単位時間当たりの変形量)は時間経過とともに減少し、一定の変形量で飽和する。しかし融点(絶対温度)の約3分の1以上の高温域では、時間経過とともに変形量は増大し、最終的には破断する。これは、高温域では原子の移動である拡散が活発に生じ、微細組織が大きく変化することが原因である。一般にクリープ強度は、クリープ変形に伴う組織変化により低下する。したがって、クリープ試験の時間経過とクリープ強度の変化に対応し、クリープ速度は刻々と変化する。このような複雑なクリープ変形挙動を解析しなければ、長時間のクリープ強度を精度よく予測評価することは難しい。

実際にクリープ強度特性を把握するためには、クリープ試験が不可欠である。クリープ試験では、試験片を一定温度に保持し、一定荷重を荷重して試験片の変形を測定する。長時間クリープ試験データを取得するにはコストと時間がかかるため、世界でも国の研究機関や公的な学協会の活動として実施されている例が多い。

日本では、1966年に当時の科学技術庁金属材料技術研究所が長時間クリープ試験を開始した。これは国産の実用耐熱金属材料について、10万時間を超える長時間クリープ試験データの取得を目的としたものである。これを引き継いで現在(独)物質・材料研究機構により「クリープデータシートプロジェクト」として継続されている。

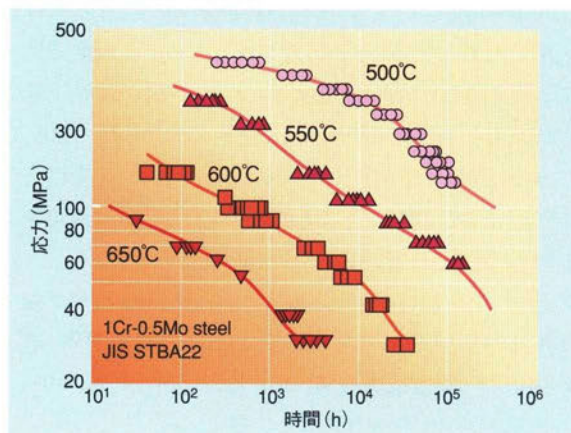
現在の試験対象材料は2008年の段階で66材種、これまでに約700点の10万時間を超える長時間データが得られている。すでに133冊のクリープデータシートを発行しており、この規模は世界でも最大級のものである。

■クリープ変形の模式図



■応力-クリープ破断時間曲線の例(1Cr-0.5Mo鋼)

この例では、同一応力で試験温度が50℃上がるごとにクリープ破断時間が約10分の1以下に減少している。



高温の発電プラントに不可欠な クリープ強度特性の解析

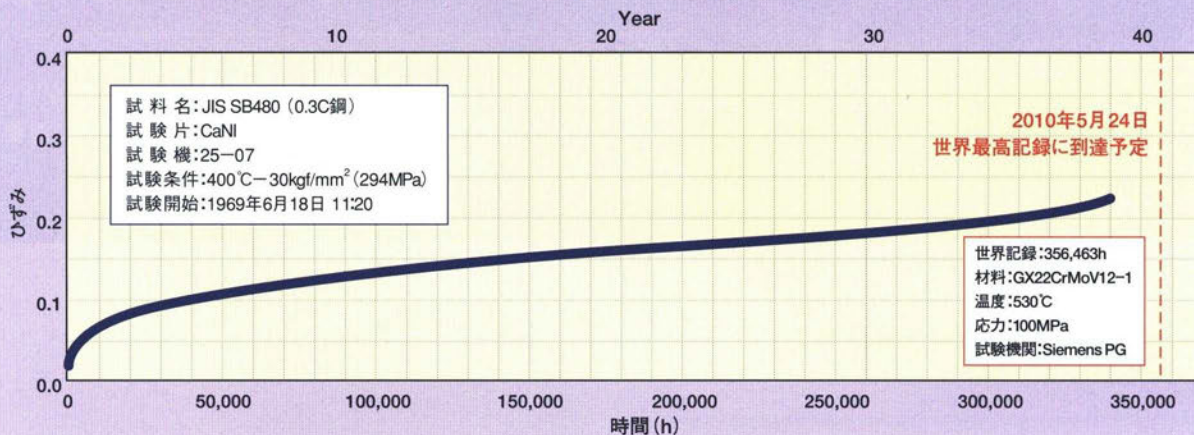
エネルギー効率向上のため火力発電プラントの稼働温度の上昇が求められており、高温下で使用される耐熱鋼にはすぐれたクリープ強度が求められる。このような材料では通常、使用温度における10万時間(約11年5か月)のクリープ破断強度から許



日本で最長のクリープ試験データ

これまで日本で行われた最長のクリープ試験は、1969年に金属材料技術研究所が始めた試験であり、現在まで約39年、34万時間が経過している。試験時間が30万時間

を超える試験は世界でもあまり例がなく、このままいけば2010年5月にはこれまでの長時間クリープ試験の世界最高記録を塗り替える予定である。



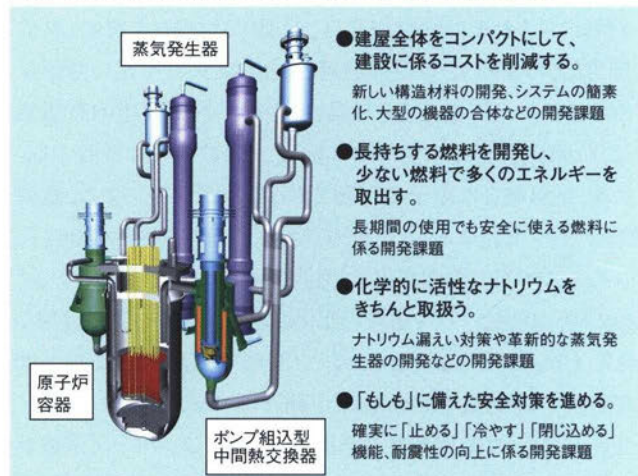
容応力が決められる。この許容応力を元に、必要な安全率が見込まれたうえで、設計が行われる。

火力発電プラントの中でも、高温の蒸気を集めるボイラの管寄せ（ヘッダー）や主蒸気管などの配管部品には、これまで熱疲労に強いフェライト耐熱鋼が使用されていた。最近の超々臨界圧発電*では、蒸気温度は650℃以上に高められようとしている。蒸気温度が上がれば許容応力は低下し、配管の肉厚を増やさなければならないが、クリープ強度の高い材料が開発されれば、これまでと同じ肉厚とすることが可能になる。現在日米欧で進行している、蒸気温度が700℃を超える次世代型超々臨界圧発電の開発では、さらに高温で使用できる材料が求められており、この温度でも引張強度や耐酸化性の点ですぐれたNi基超合金の検討や、フェライト鋼やオーステナイト鋼の使用上限温度を拡大する研究も進められている。

近年開発された高強度フェライト鋼では、長時間のクリープ強度の過大評価の危険性が懸念されていた。そこで長期間、高温下での使用に伴う強度低下機構に関する研究が行われ、クリープ寿命予測法の高精度化が図られている。

より高温に耐えられる耐熱鋼が必要なのは、火力発電だけではない。（独）日本原子力研究開発機構では、現在高速増殖炉サイクル実用化を目指した研究開発計画である「FaCT (Fast Reactor Cycle Technology Development) プロジェクト」を実施している。このなかに高速増殖炉配管に使用する構造材料の開発も盛り込まれており、耐用年数60年を可能にする設計のため材料強度基準の整備などが進められている。

■FaCTプロジェクトにおけるナトリウム冷却炉の開発課題



出典: JAEA-Research 2006-042、高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究フェーズII 技術検討書(1) 原子炉プラントシステム、2006年6月

もし、すでに何年も使用されている高温プラントの耐熱鋼に問題が発生した場合、その時点から何十年というクリープ寿命の検討を開始するのでは間に合わない。クリープ寿命の予測精度は大きく向上しているものの、予測結果が実際の材料寿命を反映したものかどうかは、実際に時間が経過してみなくてはわからない。つまり長期間寿命が必要な材料では、材料の使用を開始する時点から、損傷が発生する可能性を想定し、損傷を予見できるだけの知識を蓄積することが必要である。地道なクリープ試験の継続は、鉄鋼材料の長期間にわたる信頼性を支える、大きな意義を持っている。

*超々臨界圧発電: タービン入口蒸気条件538~566℃、246気圧以上の火力発電を超臨界圧発電と呼ぶが、この蒸気圧力または温度を大幅に超える場合を超々臨界圧発電と呼ぶ。