

# 陽電子寿命法による火力発電用高温部材のクリープ寿命評価

現場での寿命評価手法の開発を目指して

Creep Life Evaluation of High-Temperature Materials for Thermal Power Generation, Using the Positron Lifetime Method Aiming for the Development of Lifetime Evaluation Techniques for Application at Work Sites

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

(Materials Technology Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

火力発電所で使用されている高温再熱蒸気管溶接継手材、ボイラ過・再熱器管およびガスタービン動・静翼材のクリープ損傷を表面近傍から現場で検出・評価できる陽電子寿命法(クリープ損傷による転位密度の変化を非破壊で検出する手法)によりクリープ寿命評価ができる可能性があることが分かった。

It has been found that it may be possible to perform creep life evaluations using the positron lifetime method (a non-destructive method of detecting changes in dislocation density caused by creep damage). Such method can be used at work sites to detect and evaluate creep damage from areas near material surfaces, on high-temperature reheat steam pipe weld joint materials, boiler superheater and reheater tube materials, and gas turbine rotor and stator blade materials, used in thermal power plants.

## 1 背景と目的

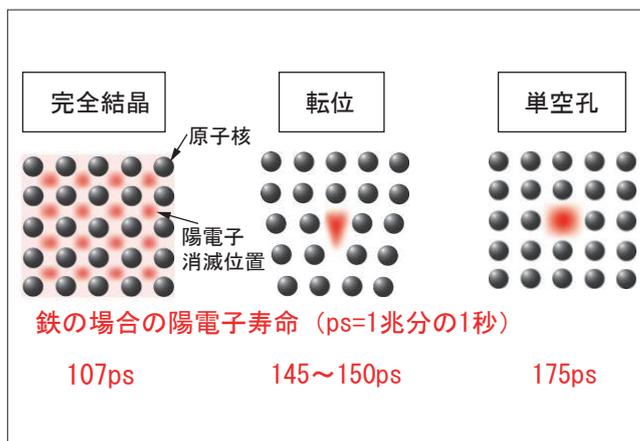
高温再熱蒸気管溶接継手材、ボイラ過・再熱器管材およびガスタービン動・静翼材は高温高圧下での運転によりクリープ損傷を受けているが、それらの損傷を現場で評価する手法は現時点では確立されていない。

近年、金属材料に照射した陽電子の寿命を測定することで、クリープ損傷を初期段階から予測できる技術が注目されており、これを用いることにより、現場でクリープ寿命評価を行えることが期待される。

そこで、現場における寿命評価手法の開発を目指して、高温再熱蒸気管溶接継手材、ボイラ過・再熱器管材およびガスタービン動・静翼材への陽電子寿命法によるクリープ寿命評価の可否を検討することにした。

時に発生する $\gamma$ 線を検出するまでの時間で算出される。

陽電子の消滅位置は金属の損傷状態(欠陥の有無)によって変化する。第2図に金属中の陽電子消滅位置を示す。

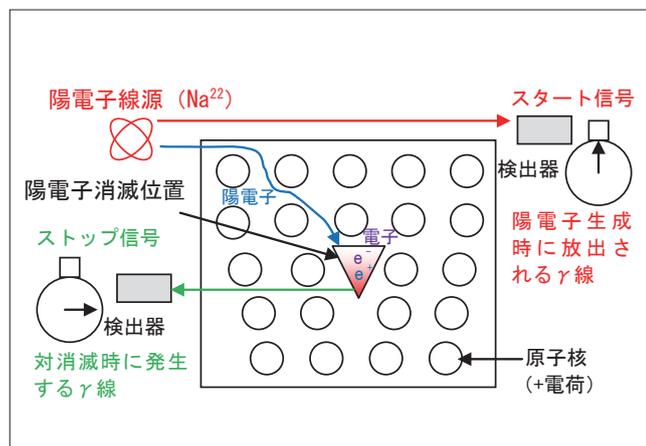


第2図 金属中の陽電子消滅位置

## 2 陽電子寿命法の原理および陽電子消滅位置

陽電子寿命法の測定原理を第1図に示す。 $\beta$ 崩壊により陽電子線源( $\text{Na}^{22}$ )から発生した陽電子は電子の反粒子であるため、金属中では1兆分の1秒単位の極めて短い時間で電子と出会い、対消滅する。この陽電子寿命は陽電子生成時に放出される $\gamma$ 線を検出した時点から対消滅

陽電子寿命は消滅位置での電子密度に反比例する性質がある。完全結晶では、陽電子は正に帯電した原子核から離れた格子間で消滅し、陽電子寿命は短い値を示す。それに対して、欠陥である転位(結晶中の原子の線状に見える乱れ)および単空孔等を含む場合は、陽電子が原子核から離れた空隙で消滅するため、損傷を含まない場合と比較して消滅位置での電子密度が低く、陽電子寿命が長くなる。陽電子寿命は欠陥の種類によって異なることから、金属が受けた損傷を区別して評価できる。今回は転位での陽電子寿命を測定することにより高温再熱蒸気管溶接継手材、ボイラ過・再熱器管材およびガスタービン動・静翼材のクリープ寿命を評価する。

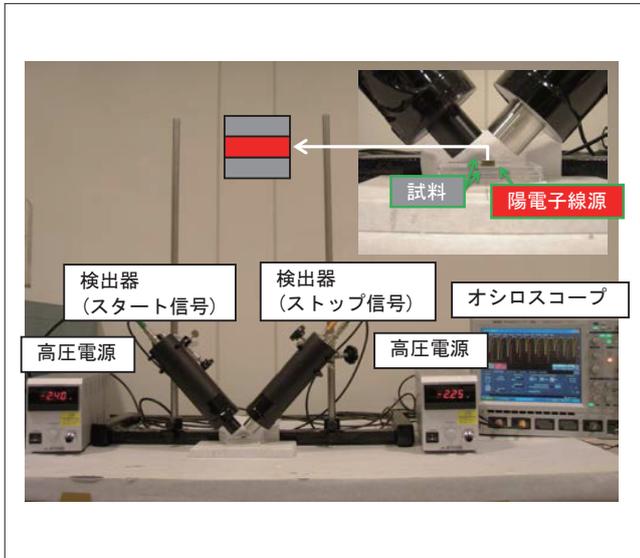


第1図 陽電子寿命の測定方法

## 3 陽電子寿命評価装置

陽電子寿命評価装置を第3図に示す。ある程度小型であり、現場への持ち運びが可能なシステムとなっている。陽電子寿命評価装置は陽電子線源、検出器、高圧電源およびオシロスコープで構成されている。陽電子線源(直

径3～5mmの薄膜)は拡大写真に示すように、測定対象の2枚の試料の間に挟まれている。



第3図 陽電子寿命評価装置

## 4 クリープ寿命消費材の作製

高温再熱蒸気管溶接継手材は試験温度650℃、試験応力80MPaで破断するまで単軸クリープ試験(2本)を実施した。2本の破断時間の平均値をクリープ寿命損傷(100%)とした。この破断時間を基に、クリープ途中止め試験を各試験条件につき2本ずつ同時に開始し、クリープ寿命消費率を段階に分け、各試験を終了し、クリープ寿命消費材を作製した。

ボイラ過・再熱器管材は試験温度700℃、試験応力126MPaおよび試験温度725℃、試験応力101MPaで破断するまで単軸クリープ試験を行い、同様の考え方でクリープ寿命消費材を各2本作製した。また、ガスタービン動・静翼材は試験温度850℃、試験応力278MPaおよび試験温度900℃、試験応力216MPaで破断するまで単軸クリープ試験を行い、同様の考え方でクリープ寿命消費材を各2本作製した。

なお、いずれの材料においても、新材をクリープ寿命未消費材とした。

代表として、高温再熱蒸気管溶接継手材のクリープ途中止め試験片の外観写真を第4図に、ボイラ過・再熱器管材の途中止め試験片の外観写真を第5図に示す。



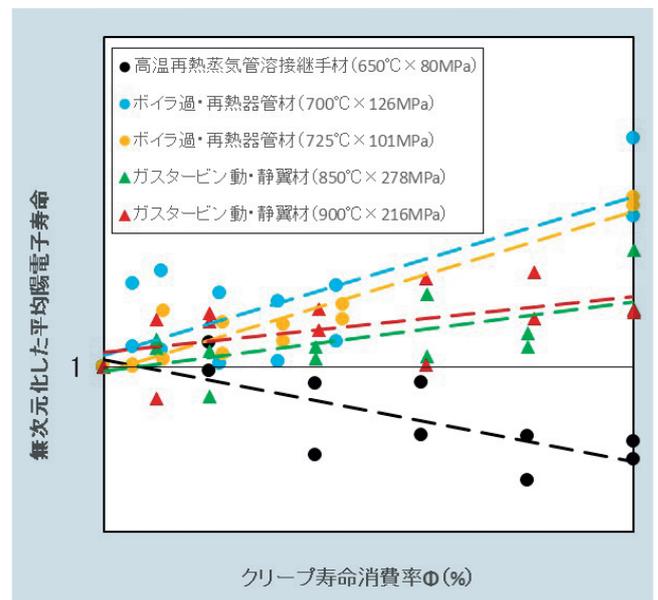
第4図 高温再熱蒸気管溶接継手材のクリープ寿命消費材の外観



第5図 ボイラ過・再熱器管材のクリープ寿命消費材

## 5 陽電子寿命法によるクリープ寿命測定結果

高温再熱蒸気管溶接継手材、ボイラ過・再熱器管材およびガスタービン動・静翼材のクリープ寿命消費材の陽電子寿命を300万カウント測定した結果を第6図に示す。なお、縦軸の平均陽電子寿命は無次元化処理を行っている。



第6図 平均陽電子寿命とクリープ寿命消費率との関係

高温再熱蒸気管溶接継手材では、弱点部位である溶接熱影響部細粒域において、クリープ損傷が進行するにつれて、熱処理で強化させた組織が元に戻る(転位(結晶中の原子配列が不連続になった線状の格子欠陥)密度が減少する)ため、平均陽電子寿命は短くなることが確認できた。また、ボイラ過・再熱器管材では、クリープ初期に平均陽電子寿命が長い領域がある(炭窒化物や $\sigma$ 相の析出による影響を受けたと推定)ものの、クリープ損傷が進行するにつれて、平均陽電子寿命が長くなることが確認できた。ガスタービン動・静翼材では、クリープ損傷が進行するにつれて、平均陽電子寿命は長くなることが確認できた。なお、クリープ寿命消費率が同じ場合でも、測定される平均陽電子寿命にバラツキがみられるのは、クリープ寿命消費率を連続的に変化させた同一のサンプルでないためと考えられる。

以上のことから、現場にて陽電子寿命法によるクリープ寿命評価が実施できる可能性があることが分かった。



執筆者/藤田明吾