

ロケット再生冷却燃焼器の残留ひずみ分布の評価

Evaluation of residual strain distribution of regenerative cooled combustion chamber

森谷 信一¹⁾, 升岡 正¹⁾, 鈴木 裕士²⁾

Shinichi MORIYA, Tadashi MASUOKA, Hiroshi SUZUKI

¹⁾宇宙航空研究開発機構, ²⁾日本原子力研究開発機構

ロケットエンジン燃焼器内部の残留ひずみ分布の測定について検討を行った。外面からは見えない燃焼器内部の冷却溝の位置を把握する方法を確立し、残留ひずみ分布が測定可能であることを確認した。今後、燃焼試験後の残留ひずみ分布を測定し、ロケットエンジンの信頼性向上に資する予定である。

キーワード: ロケットエンジン, 燃焼器, 再生冷却, 寿命評価, 残留ひずみ, RESA

1. 目的

ロケットエンジン燃焼器の信頼性向上のうえで、燃焼器の寿命予測技術の確立が重要な課題の一つとなっている。液体水素で冷却されるロケット燃焼器は、厚さがわずか 1mm の壁の片面が高温燃焼ガス (約 3000°C) に、もう一方が極低温の液体水素 (約 -253°C) に曝され、極めて大きな温度勾配に耐える必要がある。この大きな温度勾配に起因する熱ひずみにより損傷が発生する。寿命予測は、熱構造解析を基に行われるが、燃焼器の寿命を過大評価する傾向にあるため、予測手法の見直しが行われている。本研究は、熱構造解析モデルの検証の一環として、残留ひずみデータを取得することを目的とする。平成 20 年度の試験では、燃焼試験実施前のサブスケール燃焼器を対象に、中性子回折法による残留ひずみ分布の測定の可能性について検討を行った。

2. 方法

本試験で用いた燃焼器は、内筒が CrZr 銅合金、外筒が銅電鍍である。試験は RESA において行った。試験の様子および供試体の写真を図 1 に示す。供試体は 3 軸方向可動テーブルおよび回転テーブル上に設置され、任意の検査領域の位置決めが可能となっている。中性子の波長は Ni 粉末による回折測定から、無ひずみ状態の格子面間隔 d_0 は別途試験片により計測し、残留ひずみを得た。

3. 研究成果

燃焼器の断面構造の概要を図 2 に示す。燃焼器内部の残留ひずみ分布を測定するためには、冷却溝の位置を把握した上で行う必要があるが、外面からは見えないため温度および圧力測定ポート等の位置から推定するしかなく、精度が期待できない。そこで、本供試体は冷却溝が軸対称に配置されていることから、供試体を回転させながら中性子ビームを照射し、透過強度分布を測定することにより冷却溝の位置を把握することを検討した。図 3 に中性子ビーム透過強度分布の測定例を示す。冷却溝の位相では金属中の透過距離が短いためビーム透過強度が大きくなり、リブの位相では逆に金属が厚くなるためにビーム透過強度が小さくなる。また、ビーム照射領域が冷却溝とリブの境界をまたぐ際にも、金属と冷却溝空間の割合に応じて透過強度が徐々に変化していく。そのため、透過強度分布は図 3 に示すように周期的に変化することになる。また、ピーク間隔は冷却溝間隔に一致していることから、本手法により冷却溝位置を把握することが可能であることが確認された。

次に、図 4 に周方向ひずみ分布の測定例を示す。隣り合う冷却溝間のリブ中央 2 箇所について半径方向の位置を変えて測定した結果である。外表面から 5mm の銅電鍍層までは、両者の残留ひずみの値はよく一致しているが、より内面側の CrZr 銅合金の部分では残留ひずみにばらつきが見られる。ばらつきの要因としては、測定時間がばらつきを排除するには十分でない (今回は測定時間 20 分) 可能性や粗大粒の影響等が考えられるが、詳細な検討は次の試験時に実施する予定である。但し、時間をかければ十分な回折強度が得られる見込みであることから、残留ひずみ分布の測定が可能であることが確認された。

4. 結論・考察

初めて切断前の燃焼器内部の残留ひずみ分布の測定を試みた。測定に当たっては、最初に燃焼器

内部の冷却溝の位置の把握方法を検討し、中性子ビームの透過強度分布を測定する方法が有効であることを確認した。次に残留ひずみ分布の測定を試みた結果、測定が可能であることが確認された。但し、測定結果にはばらつきが見られることから、その原因と対策について検討する必要があることが示された。



図1 試験の様子および供試体の写真

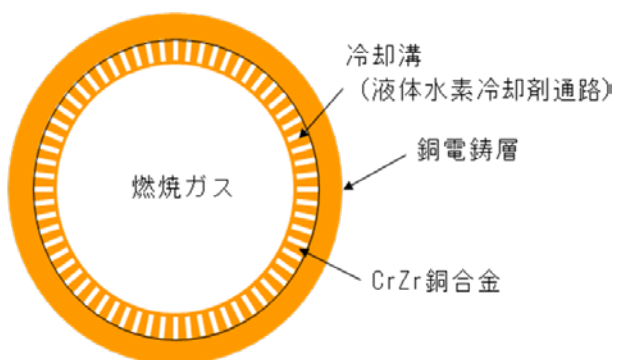


図2 燃焼器の断面構造の概要

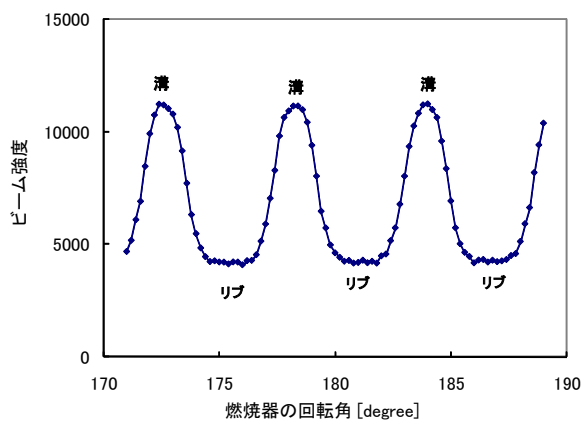


図3 中性子ビーム透過強度分布の測定例

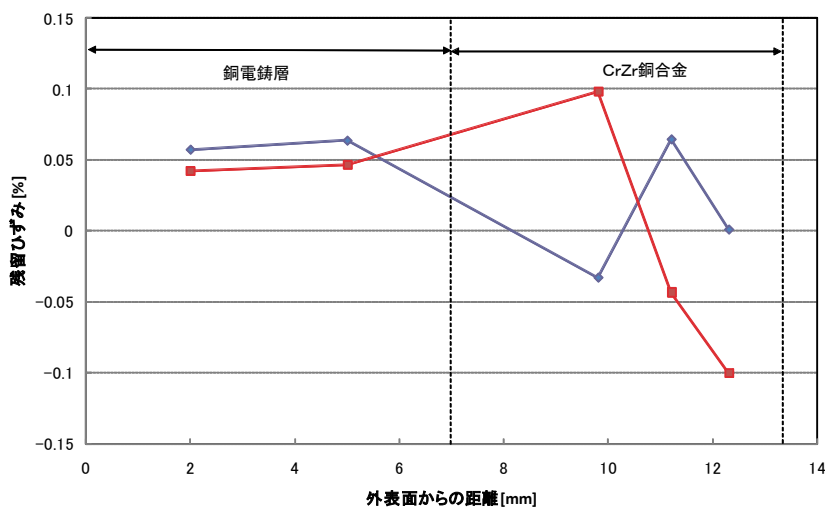


図4 残留ひずみ分布の測定例