

## 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 a Regenerative Cooled Rocket Combustor

森谷 信一<sup>1)</sup>, 升岡 正<sup>1)</sup>, 鈴木 裕士<sup>2)</sup>

Shinichi Moriya, Tadashi Masuoka, Hiroshi Suzuki

<sup>1)</sup>宇宙航空研究開発機構

<sup>2)</sup>日本原子力研究開発機構

液体水素再生冷却ロケット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。H20 年度に実施した試験結果では、得られた残留ひずみのばらつきが大きかったことから、適切な測定時間と揺動の有効性について検討を行い、燃焼試験後のロケット燃焼器の残留ひずみ分布の評価を試みた。

**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。図 1 にロケット燃焼器の構造の概要を示す。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、残留ひずみ分布の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を行ったが、得られた残留ひずみのばらつきが大きかったことから、粗大粒の影響が考えられた。そこで今年度は、適正な測定時間の設定と、揺動の有効性について検討を行い、燃焼試験後のサブスケール燃焼器を対象に残留ひずみ分布の評価を行う。

### 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。試験の様子の写真を図 2 に示す。供試体は 3 軸方向可動のゴニオメータ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。本燃焼器の内筒は Cr-Zr 銅合金、外筒は銅電鍍層で形成されている。内筒には、液体水素冷却剤通路が周方向に等間隔に設けられている。測定部位は、温度・圧力計測用ポートが設置されていないスロート部の上流(スロート部から 66.4 mm)とし、変形が最も激しくなる冷却溝リガメント部中央とした。本試験では、測定時間の検討のために、測定時間を 20 分ずつ 10 回、計 200 分測定したときの回折角のばらつきのデータを取得し、測定時間について検討を行った。さらに、 $\pm 5^\circ$  の揺動を与えて測定を行い、揺動をしない場合との比較を行って、揺動の有効性について検討を行った。

### 3. 研究成果

図 3 に、各 20 分ずつ 10 回測定して得られた各 20 分毎の回折角の結果を示す。回折角の最小が  $44.917^\circ$ 、最大が  $44.944^\circ$  とばらつきが大きいことが分かる。この回折角の差は、残留ひずみに換算すると 0.057% に達し、無視できない。それに対し、20 分毎の計測結果を順次積算していった結果を図 4 に示す。これは、計測時間を漸次延ばしていくことに対応する。図 4 より、120 分程度で得られる回折角が安定してくることが分かる。

次に、揺動のばらつきに対する効果について検討を行った。図 5 に計測時間を 120 分として揺動なしで計測した結果を示す。測定は冷却溝リガメント部中央で、互いに隣り合う 6 本の冷却溝に対して測定を行った。図には残留ひずみと得られた回折ピークの半価幅を示してある。但し、残留ひずみを算出した際に用いた  $d_0$  は、試験時間が足りなかったため以前に取得したデータをそのまま用いている。本  $d_0$  の測定時間は 10 分であり、ばらつきに対する測定時間の影響は考慮されていない。図 5 より、隣り合う冷却溝であるにも関わらず、残留ひずみと半価幅のばらつきが非常に大きいことが分かる。図 6 に揺動角  $\pm 5^\circ$  を与えたときの残留ひずみと回折ピークの半価幅を示す。測定部位及び測定

時間は同じである。その結果、回折角および回折ピークの半価幅ともにばらつきが小さくなり、揺動が有効であることが示された。これらの結果から、測定部位では結晶の粗大粒の影響があることが考えられる。

#### 4. 結論・考察

燃焼試験実施後の燃焼器を対象に残留ひずみ分布の測定を試みた。測定時間に対する回折角のばらつきの変化から、測定時間の目途付けを行った。また、揺動の有無に対する回折角のばらつきを検討した結果、揺動が有効であることが確認された。これらのことから、燃焼試験後の燃焼器では結晶粒が粗大化している可能性があり、計測に当たっては留意が必要であると言える。今後、切断観察により結晶粒の大きさの確認を行う。また、 $d_{01}$  のデータについても再度取得し直す予定である。

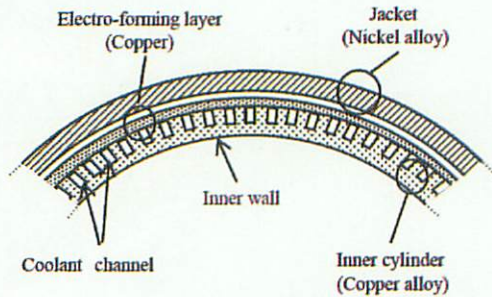


図1 燃焼器の断面構造の概要

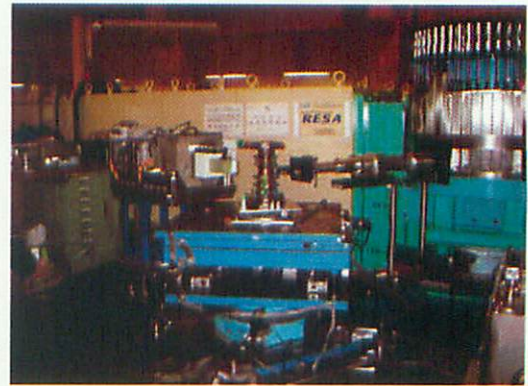


図2 試験の様子

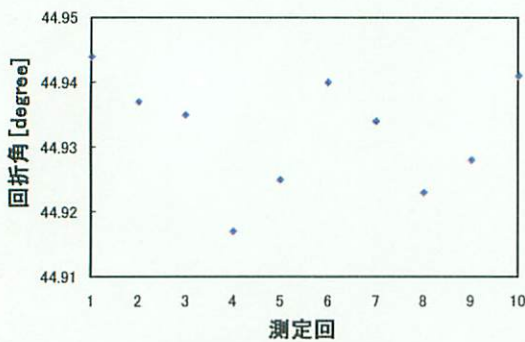


図3 繰り返し測定時（測定時間 10分）の回折角のばらつきの様子

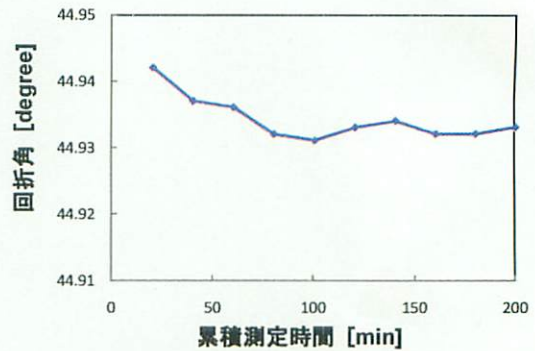


図4 累積回折強度に対する回折角のばらつきの変化の様子

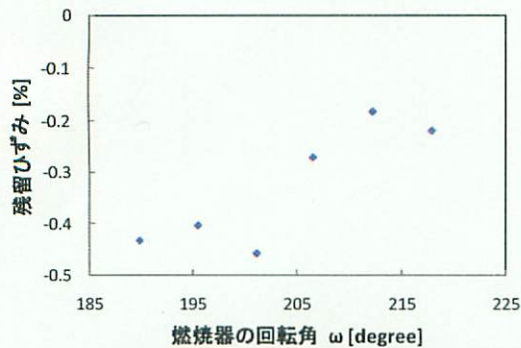


図5 残留ひずみ測定結果（揺動なし）

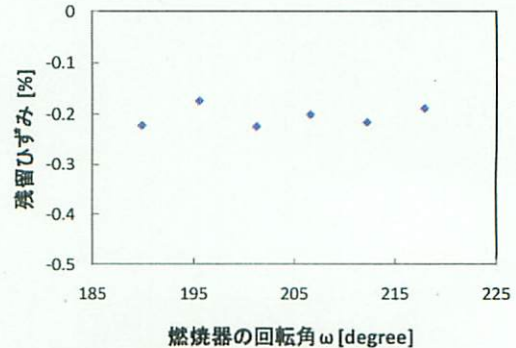


図6 残留ひずみ測定結果（揺動あり）