

## 液体ロケット燃焼器損傷模擬試験用供試体の試験前残留ひずみ評価

Pre-test evaluation of residual strain distribution with a specimen for a cyclic thermal shock test simulating thermal strain condition of a liquid rocket combustion chamber wall

森谷 信一<sup>1)</sup>, 升岡 正<sup>1)</sup>, 鈴木 裕<sup>2)</sup>, 秋田 貢一<sup>2)</sup>

Shinichi Moriya, Tadashi Masuoka, Hiroshi Suzuki, Koichi Akita

<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

ロケット燃焼器の寿命予測技術の高精度化を目的に、日本原子力研究開発機構那珂研究所が保有する電子ビーム高熱負荷加熱装置を用いて、平成23年3月に液体ロケット燃焼器損傷を模擬する試験を実施予定である。本研究は、損傷模擬試験の実施前に試験片内部の初期残留ひずみ分布の評価を行うものである。

キーワード：ロケットエンジン，燃焼器，高熱負荷加熱試験，寿命評価，残留ひずみ，RESA

### 1. 目的

筆者らはこれまでに、ロケット燃焼器の寿命予測技術の高精度化を目的に、サブスケール燃焼器を用いた残留ひずみ分布データの取得を行ってきた<sup>1)-2)</sup>。H21年度までに測定手法の目処付けがほぼ完了し、H22年度に本格的なデータ取得を実施した。次のステップとして、燃焼器の破壊メカニズムの解明のための研究をH23年度より開始する予定である。我が国においては燃焼器の破壊試験はまだ行われたことがなく、データの蓄積がほとんどないため早期の実施が必要となっている。しかしながら実機燃焼器を用いた破壊試験は費用および時間の点で現実的ではなく、試験片レベルでの破壊試験技術の確立とデータの取得が強く要望されている。現在、日本原子力研究開発機構那珂研究所と共同で燃焼器構造を模擬した供試体を用いて、ロケット燃焼器の損傷模擬を目的とした高熱負荷加熱試験の研究に着手したところである。本研究は、H23年3月に実施予定の高熱負荷加熱試験の前に、試験片内部の初期残留ひずみ分布の評価を行うものである。なお、高熱負荷加熱試験後の残留ひずみデータは来年度に取得する予定であり、試験前後のデータ取得によって試験法の妥当性検証に資する予定である。

### 2. 方法

残留ひずみ計測に使用した高熱負荷加熱用供試体の概要を図1に示す。試験片は電子ビーム加熱部および冷却溝を有する無酸素銅材(C1020)と銅材の熱膨張を拘束することを目的としたステンレス材(SUS304)で構成され、両者はろう付けにより接合されている。内部の構造は、幅1mm、高さ2.5mmの冷却溝(計8本)が間隔1mmで並ぶ精細な構造となっている。供試体の両サイドは冷却孔により供試体全体を冷却する構造となっている。ひずみ計測試験はRESAにおいて実施された。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。試験はまず、供試体内部の冷却溝の位置確認を目的とした溝位置確認試験を実施し、その後冷却溝位置データを元にした試験片内壁のひずみ計測試験を実施した。溝位置確認試験では、中性子ビームを加熱部に対し垂直に8本の溝を横切るようにX軸方向にスライドさせながら照射し、中性子の透過量を計測することで溝8本の位置確認を実施した。ひずみ計測試験では、変形が最も厳しくなる冷却溝リガメント部中央のX方向のひずみについて、溝およびZ方向の位相を変えた複数点を計測した。回折角は $\langle 220 \rangle$ 、測定時間は各点120分とし、 $\pm 5^\circ$ の揺動を与えて計測を行った。

### 3. 研究成果

図3に溝位置確認試験時の中性子透過量の変化を計測した結果を示す。計測は供試体中央(Z=0mm)に対し10mm上方の位置で実施した。計測の結果、透過量のピークが8つ規則的に並び、間隔もほぼ2mmになっていることから、ピークの位置が溝に対応しているものと思われる。しかし、溝の位相では中性子の透過パス中の銅材の量が小さいことから中性子透過量自体は増加するはずであり、図3における減少ピークを示すデータと傾向として一致しない。これらの原因を調査するために、ひずみ計測試験後に超音波検

査を実施した。検査の結果を図4に示す。検査の結果、冷却溝を認識できない部分が存在することが明らかとなり、冷却溝の内数本にろう材が詰まっていることが判明した。Xスキャンの位置を超音波検査の結果と比較すると、1, 2, 3, 7本目で冷却溝がろう材で詰まっており、これは図3の結果に対応している。よって、中性子がろう材（銀ろう）を透過することにより、透過量の減少ピークを示したものと予測される。

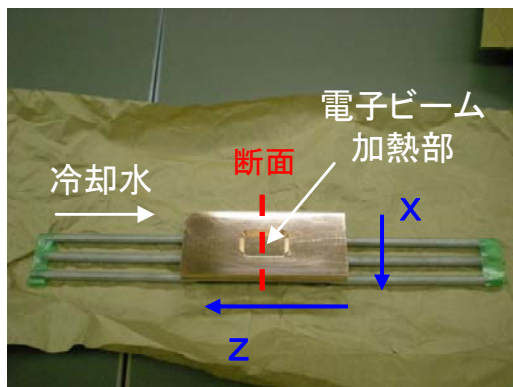
溝位置確認試験の結果を元に、冷却溝リガメント部中央のX方向のひずみについて、溝およびZ方向の位相を変えた複数点を計測した。しかし試験の結果、回折ピークや半価幅が小さいためにデータとして利用できないものが複数点あった。これは、供試体内の無酸素銅において、結晶粒がろう付け時の熱処理（900°C）により粗大化したことが原因と考えられる。よって、計測した複数点の内仕様可能なデータについて、Z方向位相（Z=-10, 0, 10 mm）ごとにカウント数を足し合わせて各位相の平均的なひずみ値を計算した。結果を図5に示す。Z方向のすべての位相で-0.001~-0.025%の圧縮ひずみとなった。

#### 4. 結論・考察

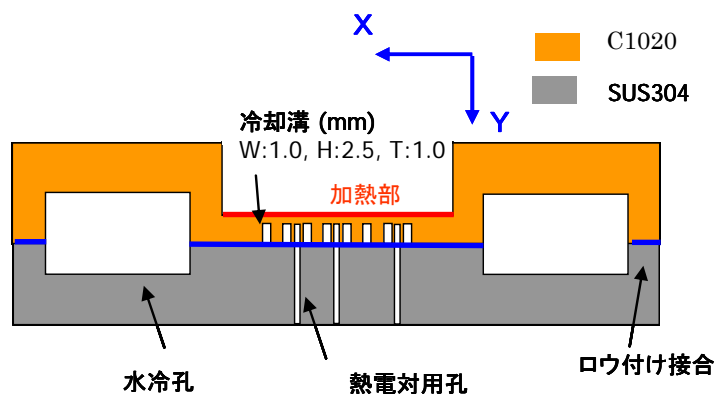
溝位置確認試験の結果、ろう材の詰まりがデータに反映されたものの本供試体に対する溝位置確認手法の妥当性は確認された。ひずみ計測試験の結果、供試体内の無酸素銅材の結晶粒粗大化によりデータとして利用できないものが複数点あった。これらの結果は今後、供試体の材料選定および製作手法に反映する。Z方向位相ごとの平均化したひずみ値は-0.001~-0.025%の圧縮ひずみとなり、非常に小さい値であった。

#### 5. 引用(参照)文献等

- 1) 升岡正, 佐藤正喜, 森谷信一, 土屋佳則, 鈴木裕士, 飯倉寛, 松林政仁, 中性子を用いた液体ロケット再生冷却燃焼器の非破壊検査, 日本航空宇宙学会論文集, 第58巻, pp. 10-16, 2010
- 2) M. Tadashi, S. Moriya, M. Sato, Y. Tsuchiya, H. Suzuki, "Feasibility Study on Neutron Diffraction Method for Evaluation of Residual Strain Distribution of Regenerative Cooled Combustion Chamber", TSTJ: Vol. 7, 2009



(a) 供試体写真



(b) 冷却溝部断面構造

図1 高熱負荷加熱用供試体



図2 試験の様子

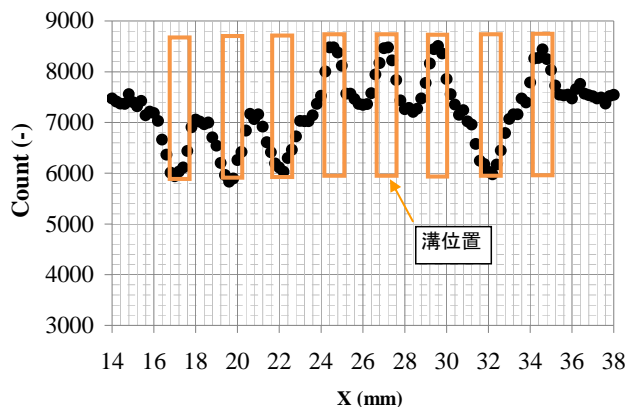


図3 溝位置確認試験時の中性子透過量の変化 (Z=10 mm)

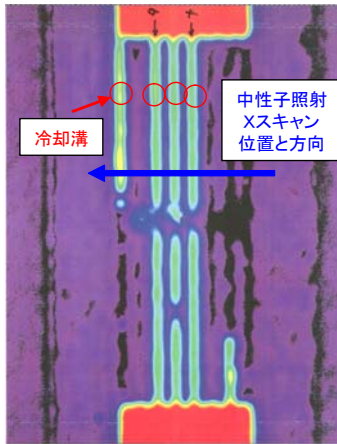


図4 超音波検査の結果

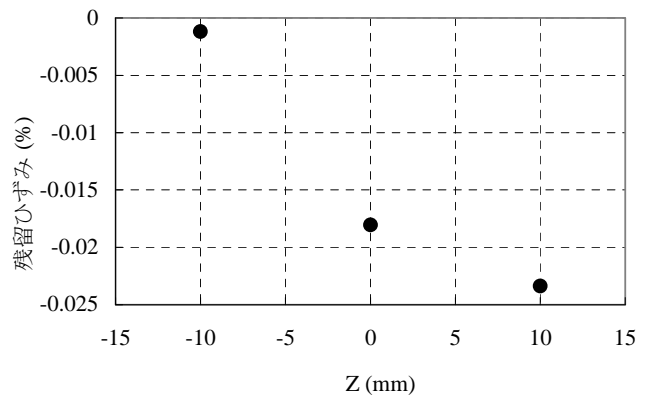


図5 残留ひずみ測定結果