

## LNGロケットエンジンにおけるサルファアタック防止に関する研究：特に金メッキの特性評価：共同研究報告

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 笹山 容資, 東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 境 昌宏, 東 伸幸, 青木 賢司, 小林 完, 沖田 耕一                              |
| 雑誌名 | 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書  |
| 巻   | 2008  |
| ページ | 42-44   |
| 発行年 | 2009-09   |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10258/00008711">http://hdl.handle.net/10258/00008711</a> |

## LNGロケットエンジンにおけるサルファアタック防止に関する研究：特に金メッキの特性評価：共同研究報告

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 笹山 容資, 東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 境 昌宏, 東 伸幸, 青木 賢司, 小林 完, 沖田 耕一                              |
| 雑誌名 | 室蘭工業大学航空宇宙機システム研究センター年次報告書  |
| 巻   | 2008  |
| ページ | 42-44   |
| 発行年 | 2009-09   |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10258/00008711">http://hdl.handle.net/10258/00008711</a> |

# 共同研究報告 – LNG ロケットエンジンにおけるサルファアタック防止に関する研究 –特に金メッキの特性評価–

- 笹山 容資(航空宇宙システム工学専攻)
- 東野 和幸(航空宇宙機システム研究センター 教授)
- 杉岡 正敏(応用化学科 教授)
- 小林 隆夫(応用化学科 技術職員)
- 境 昌宏(もの創造系領域 講師)
- 東 伸幸(宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部)
- 青木 賢司(宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部)
- 小林 完(宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部)
- 沖田 耕一(宇宙航空研究開発機構 宇宙輸送ミッション本部)

## 1. 緒言

現在、宇宙航空研究開発機構（以下 JAXA）を中心に進められている LNG を冷却剤とする再生冷却エンジンの研究では、開発リスク低減のため同エンジン特有の技術課題に対し、将来を見据えた基礎データの取得が行われている。その重要課題として、LNG 中に微量に含まれる硫黄成分による燃焼室銅合金の腐食(サルファアタック)の問題が挙げられている。これはサルファアタックが発生することで再生冷却溝流路の狭窄や材料強度の低下等の影響が懸念されているためである。

サルファアタックの研究開発リスクを低減するため、H19 年度にサルファアタックに関する基礎データの取得を目的とした準静的試験<sup>1)</sup>や極力実機作動に近い圧力、温度環境での流動試験<sup>2-3)</sup>が実施された。これら試験のうち、準静的試験では燃焼室、ノズルスカート、配管の材料候補である銅合金(SMC, OMC)や純銅(OFHC)、ニッケル合金(Inconel600)、ステンレススチール(SUS316)表面における金属硫化物の生成が確認され、流動試験では OMC 表面における金属硫化物の生成並びに金属硫化物の剥がれ現象が確認され、エンジン実機におけるサルファアタックの進行が懸念された。

本報では、エンジン材料表面への金の無電解メッキを選択し、耐サルファアタック特性評価のため実施した実験的研究成果について記述する。耐サルファアタック試験では、LNG 中に含まれる硫黄成分のうち、最も銅合金に対し腐食性が高いと推測されている硫化水素(以下「 $H_2S$ 」)やメチルメルカプタン (以下「 $CH_3SH$ 」)<sup>4)</sup>と LNG 主成分であるメタンとの混合ガスを用いて燃焼室、ノズルスカートの材料候補である SMC, OFHC, OMC, Inconel600 に対するサルファアタックの影響を確認した。その後、銅合金である SMC と OMC に施した金メッキによる耐サルファアタック特性を確認した。

## 2. 試験装置

本研究で用いた試験装置の概要を図 1 に示す。供試ガスと置換用窒素の供給圧力と流量は、それぞれ調圧弁と流量調節弁によって調節され、三方切替弁によって供給する気体を選択できる。

加熱管は透明な石英管(内径 20mm, 長さ 1000mm)であり, 電気抵抗炉を用いて所定の温度まで加熱される。試験片は電気抵抗炉の中心部に位置するように石英管内に設置した。電気抵抗炉下流にあるサンプル採取点はガス成分のサンプルを採取するために設けている。ドラフタは排ガス回収のため設けている。ドラフタに回収された排ガスは希釈され, 塩化亜鉛により無毒化し, 大気開放する。

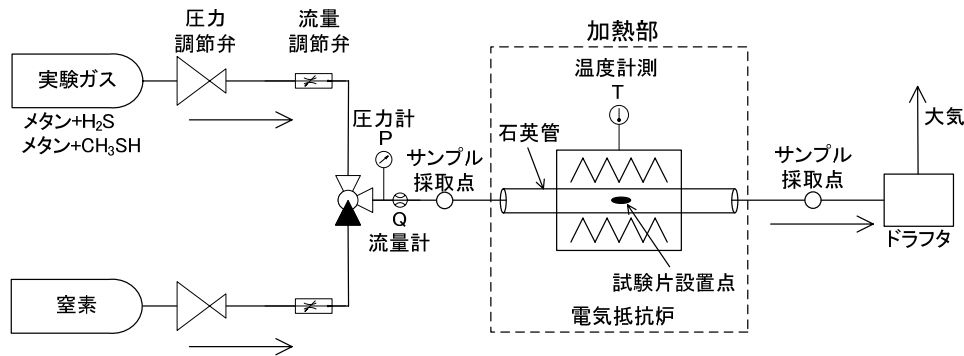


図 1 : 試験装置概要

### 3. 試験結果概要

本研究では, LNG 再生冷却ロケットエンジンにおけるサルファアタックの影響や, 金メッキによる耐サルファアタック特性評価のため, 試験および分析を実施した。本研究から得られた知見は以下のようにまとめられる。

- (1)金メッキを施していない場合, いずれの金属材料も  $H_2S$  や  $CH_3SH$  と反応し, 試験片表面全体に金属硫化物 (硫化鉄: $FeS$ , 硫化銅: $Cu_2S$ , 硫化ニッケル: $NiS$ ) が生成される。
- (2) $CH_3SH$  反応率はいずれの金属でも  $H_2S$  反応率と比較して高い値を示し, 且つ  $CH_3SH$  を用いた試験前後の質量変化は  $H_2S$  を用いた試験と比較して約 1~3 倍大きいことから,  $CH_3SH$  は  $H_2S$  と比較して金属に吸着しやすいことが判明した。ただし, 金属硫化物の深さに対する  $CH_3SH$  は  $H_2S$  影響の差異は確認されていない。
- (3)金属の材料強度はサルファアタックの影響により Inconel600 では伸びが約 65%, SMC では最大引張応力が約 8%低下し, これらの原因は硫黄脆化であると考えられる。
- (4)SMC や OMC は金メッキを施した場合, 金メッキを施していない場合と比較して  $H_2S$  反応率が最大で約 80%低下し, 金属への  $H_2S$  の吸着を低減できることが確認された。また,  $H_2S$  と金属の反応に伴い生成される水素は確認されないため,  $H_2S$  と金属の反応が低減された。
- (5)金メッキ試験片では, 試験片表面の一部で金属硫化物が生成された。この原因は金メッキ欠損部や加熱により生じた亀裂を起点とした金メッキの剥がれであると考えられる。
- (6)生成された硫化銅の深さは金メッキを施していない場合では 1~8 $\mu m$ , 金メッキ処理を施した場合は約 10~100nm であり, 金メッキにより硫化銅の生成深さが低減された。

以上の結果は, 金メッキが金属硫化物の生成や材料強度の低下を引き起こすサルファアタックの防止策として有効である可能性を示唆するものであった。ただし実機エンジン環境は高压, 高流量環境である。そのため, 本試験では確認されていない流体せん断力により, 金メッキや金属硫化物剥ぎ取られる現象が生じる可能性がある。そこで, 実機エンジン環境を模擬した環境において試験を行い, 金メッキの特性評価を行うことが次の課題となっている。また, 本試験結果で

は金メッキの一部はピンホール等の欠損部や加熱により生じる亀裂を起点とした剥がれが生じ、剥がれ部に金属硫化物が生成されていた。そのため、実機に金メッキを適用する際には、ピンホールや亀裂の発生を防止するためメッキ厚み等を増すことが考えられる。

## 参考文献

- (1) 東野和幸, 杉岡正敏, 小林隆夫, 境昌宏, 湊亮二郎, 笹山容資, 大塚雅也, 沖田耕一, 青木賢司, 川島秀人, 東伸幸: LNG ロケットエンジンにおけるサルファアタック・コーキングに関する基礎研究, 日本航空宇宙学会第 52 回宇宙科学技術連合講演会集, 2008, pp.1412-1417.
- (2) 東伸幸, 佐藤正喜, 只野誠, 升岡正, 森谷信一, 青木賢司, 川島秀人, 吉田誠, 沖田耕一, 田村貴史, 丹生謙一: LOX/メタン再生冷却エンジンにおけるサルファアタック・コーキング影響評価試験, 日本航空宇宙学会第 52 回宇宙科学技術連合講演会集, 2008, pp.1418-1423.
- (3) N, Azuma. M, Sato. M, Tadano. M, Sato. T, Masuoka. S, Moriya. K, Aoki. H, Kawashima. M, Yoshida and K, Okita. : Compatibility of Methane Fuel with LOX/Methane Engine Combustion Chamber Cooling Channels, AIAA Paper 2008-4838, AIAA/ASME/SAE/ASEE 44<sup>th</sup> Joint Propulsion Conference & Exhibit, July 20-23, 2008, Hartford.