

グラファイトコーティングによるLNGロケットエンジン内のコーキング抑制

著者	東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 湊 亮二郎, 大屋 俊輔, 笹山 容資
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	36-38
発行年	2009-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008713

グラファイトコーティングによるLNGロケットエンジン内のコーキング抑制

著者	東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 湊 亮二郎, 大屋 俊輔, 笹山 容資
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	36-38
発行年	2009-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008713

グラファイトコーティングによる LNG ロケットエンジン内のコーキング抑制

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 教授)

○ 湊 亮二郎(航空宇宙システム研究センター 助教)

大屋 俊輔(応用化学専攻)

笹山 容資(航空宇宙システム工学専攻)

1. 本研究の背景と目的

近年、液体ロケットの燃料として、液化天然ガス(以下 LNG)に注目が集まっている¹⁻³⁾。LNG は液体水素と比較して、高密度、高沸点、低コストであるため、運用性や貯蔵性に優れているという特性を持っている。しかし再生冷却型ロケットエンジンに適用した場合、LNG の熱分解に伴うコーキングの発生が問題になってくる⁴⁾。加えてロケットエンジン材料であるニッケル系耐熱合金が、触媒として作用することも知られており、この触媒効果によって熱分解開始温度が 200K 近く下がることが報告されている⁵⁾。そこで本研究ではグラファイトコーティングによって、エンジン材料表面を覆い、触媒効果を抑制することでコーキングを防ぐことを提案した。

グラファイトは炭素の中でも規則性を有する結晶構造を持っており、活性炭のような化学活性を有していない。そのためグラファイトを金属表面に施せば、金属の触媒効果を抑制することができるものと考えられるためである。

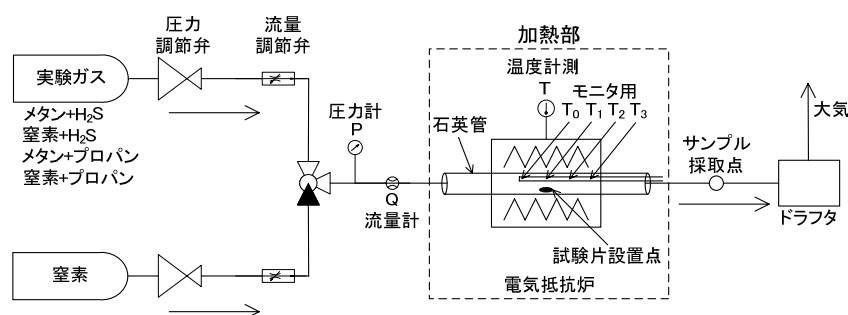


図1 : グラファイトコーティング試験装置概略図

2. 試験方法

本研究では、第 1 図に示すような固定床流通型反応装置を用いて試験を行った。加熱炉内の加熱管は透明な石英管(内径 20mm, 長さ 1000mm)を用いており、電気抵抗炉によって所定の温度まで加熱される。エンジン材料を模擬した試験片(長さ 10mm×幅約 10mm×厚さ約 2mm)はアルミナ製燃焼ボートに 5~10 枚入れて、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。

試験ガスには、純メタン、メタンとプロパンの混合ガスである擬 LNG ガス、及び窒素 95vol%

とプロパン 5vol%の混合ガスの3種類を用いた。グラファイトコーティングなどで表面処理したInconel600を加熱管内に入れて、その触媒効果を検証する他、炭素自身の触媒効果を検証するため活性炭、無定形炭素及びグラファイトも試料として供した。

試験ガスを加熱し、その成分を熱伝導度型検出器ガスクロマトグラフによって分析した。また試験ガスの熱分解については、次の式(1)のようなメタン転化率を定義して、各々の熱分解を評価することにした。

$$\text{メタン転化率} [\%] = 100 \times \left(1 - \frac{\frac{A_{CH_4}}{\lambda_{CH_4}}}{\frac{A_{CH_4}}{\lambda_{CH_4}} + \frac{A_{H_2}}{\lambda_{H_2}}} \right) \quad (1)$$

A と λ はそれぞれガスクロマトグラフの出力ピーク面積と熱伝導率であり、添え字は化学種を示している。

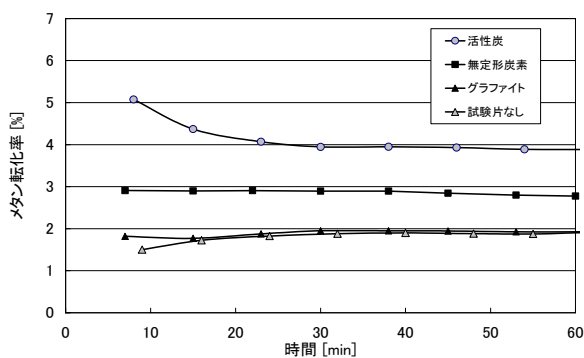


図 2：炭素触媒によるプロパン 5vol%擬 LNG ガスの 700°C 熱分解特性

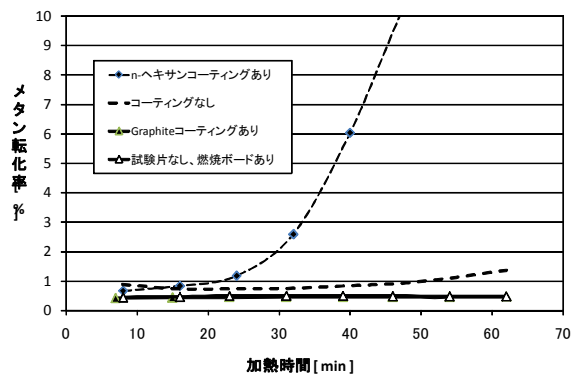


図 3：プロパン 5vol%擬 LNG ガスの 627°C 加熱時の熱分解特性

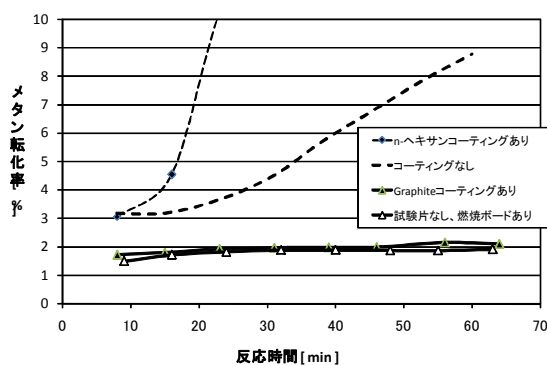


図 4：プロパン 5vol%擬 LNG ガスの 700°C 加熱時の熱分解特性

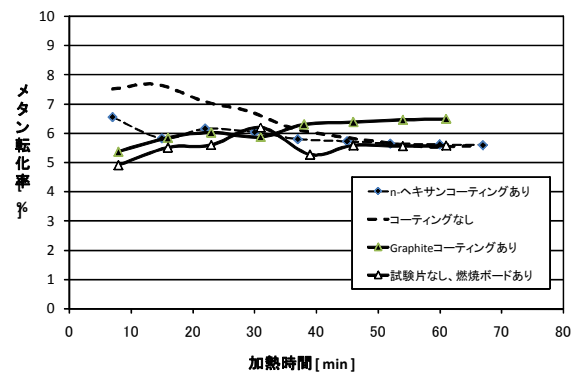


図 5：プロパン 5vol%擬 LNG ガスの 800°C 加熱時の熱分解特性

3. 実験結果とまとめ

最初に本研究では、炭素析出物による触媒効果を検証するため、活性炭、無定形炭素及びグラファイトの触媒効果を実験的に評価してみた。図 2 は各炭素化合物について、700°C定温試験におけるプロパン 5vol%擬 LNG ガスのメタン転化率の時間履歴を示したものである。活性炭を試料に用いた場合のメタン転化率は、最終的には 4vol%程度に落ち着いた他、無定形炭素でのメタン転

化率は、試験中は終始 3%であった。それらに対してグラファイトを試料に用いた場合では、前二者と比較してメタン転化率が低く、試料なしの場合とほぼ同じレベルであった。これらの結果より活性炭と無定形炭素にはプロパンの熱分解反応に対する触媒効果が存在するが、グラファイトにはそれが確認されておらず、熱分解反応に対する活性作用が無いことが分かる。

図 3,4 及び 5 はそれぞれ 627°C, 700°C 及び 800°C におけるプロパン 5vol% 擬 LNG ガスのメタン転化率の時間履歴である。800°C 定温加熱試験では 4 つの条件で全てメタン転化率が同じレベルに落ちている。これは 800°C ではメタンの熱分解は温度に依存しているためと考えられる。一方 700°C 以下ではグラファイトコーティングの試験片では、試験片がない場合と同等のメタン転化率になっており、Inconel 600 の触媒効果を効果的に抑制していることが分かった。また 700°C では n-ヘキサンコーティングとコーティング無しの条件では、時間と共にメタン転化率が上昇している。ラマン分析によって試料表面の炭素を分析したところ、これは 700°C の加熱条件で析出した炭素には、結晶構造が異なっており、化学的な活性を有するためと考えられる。

以上の結果より、グラファイトコーティングが、LNG 再生冷却型ロケットエンジンのコーキング抑制に効果的な技術であることが示された。

参考文献

- (1) Brown, C.D. “Conceptual Investigations for a Methane Fueled Expander Rocket Engine”, AIAA Paper 2004-4210.
- (2) Schuff, R., Maier, M., Sindiy, O., Ulrich, C. and Fugger, S. “Integrated Modeling and Analysis for a LOX/Methane Expander Cycle Engine Focusing on Regenerative Cooling Jacket Design.” AIAA Paper 2006-4534.
- (3) Crocker, A. M. and Peery, S. D. “System Sensitivity Studies of a Lox/Methane Expander Cycle Rocket Engine.” AIAA Paper 98-3674.
- (4) 東野和幸他：LNG ロケットエンジンのメタンコーキング特性に関する基盤研究，日本航空宇宙学会論文集，第 57 巻, 664 号, (2009), pp.210-216.
- (5) 東野和幸他：LNG ロケットエンジンにおけるサルファアタック及びコーキングに関する基礎研究，日本航空宇宙学会論文集（投稿中）