

再生冷却LNGロケットエンジンコーキングの検討と 基礎試験：共同研究報告（(株)アイ・エイチ・ア イ・エアロスペース）

著者	東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 湊 亮二郎, 丸 祐介, 笹山 容資, 大塚 雅也, 牧野 隆, 坂口 裕之
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	2007
ページ	77-81
発行年	2008-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008687

再生冷却LNGロケットエンジンコーキングの検討と 基礎試験：共同研究報告（(株)アイ・エイチ・ア イ・エアロスペース）

著者	東野 和幸, 杉岡 正敏, 小林 隆夫, 湊 亮二郎, 丸 祐介, 笹山 容資, 大塚 雅也, 牧野 隆, 坂口 裕之
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	2007
ページ	77-81
発行年	2008-09
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008687

共同研究報告((株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース)

ー 再生冷却 LNG ロケットエンジン コーキングの検討と基礎試験

東野 和幸(航空宇宙機システム研究センター 教授 教育研究等支援機構 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)

湊 亮二郎(機械システム工学科 助教)

丸 祐介(航空宇宙機システム研究センター 博士研究員)

○ 笹山 容資(機械システム工学専攻 航空宇宙機システム研究室)

大塚 雅也(応用化学科 反応化学研究室)

牧野 隆((株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース 宇宙技術部 部長)

坂口 裕之((株)アイ・エイチ・アイ・エアロスペース 宇宙技術部)

1. 研究概要・目的

現在、ロケットやスペースシャトルで使用されている推進薬は RP-1 (ケロシン) 等の炭化水素系燃料や液体水素に大別される。一般的に炭化水素系燃料は低比推力、大推力、高密度でブースター系エンジンに適しており、液体水素は高比推力、低密度であるので上段系エンジンに適している。液化天然ガス (LNG: 主成分はメタン) は、これら双方の推進薬の中間的な性質を持つ。そのため、機体の小型化や取扱の容易さ、環境への優しさの観点から将来の軌道間輸送機や宇宙往還機の推進薬として注目を集めている。しかし、LNG はその燃焼特性や冷却特性、分解特性、材料への影響、システムの成立性等実用までに様々な課題がある。そこで現在、これらの課題を解決するために基盤技術の研究開発が行われている。また、LNG の主成分であるメタンの推進剤としての有効性を実証するための GX ロケットの研究開発が我が国で進められている¹⁾。

LNG エンジン系では性能向上ならびにエンジン小型化を狙い、ターボポンプ化の研究が行われており、主燃焼器は LNG による再生冷却、ノズルはガスジェネレーターからの排ガスを利用したダンプ冷却が検討されている²⁾。この冷却用メタンは熱分解に伴うコーキングにより、冷却溝の狭窄や冷却性能を低下させるなどの問題の可能性もある。そのため、メタン熱分解反応の挙動や、冷却特性を明確にすることは重要であるが、それらは明確になっていない。

本報では、メタン熱分解特性を解明することを目的とし、実験、ならびに理論解析を実施した。まずメタン自身の熱分解特性を実験によって確認し、次にノズル材料候補である Inco718, Inco600, A286 の触媒効果を実験によって確認した。理論解析はメタン自身の熱分解特性について行い、実験結果との比較・検討を行った。これらの結果より、メタン熱分解温度やノズル材料候補の触媒効果による炭素析出量への影響などを明確にした。

2. 実験・分析

2.1 実験装置

本実験装置の概要を図 1 に示す。本実験では、測定に用いる純メタン (純度 99.99%)、実験前

に試料表面を還元する水素, 実験前後の作業中の安全のために流路を置換する窒素が使用される. 実験装置へ流入する気体は, 切替弁により選択できる. 各気体の流量, 及び圧力は圧力調節弁や流量調節弁を用いて調節する. 加熱部では, 石英管内の気体, 及び試料は電気抵抗炉を用いて所定の温度まで加熱される. 本実験では, メタン熱分解反応の挙動やコーキングの様子を検証するため, 透明な石英管(内径 20mm, 長さ 1000mm)を用いている. 試料(長さ 10×幅 5×厚さ 0.5mm)はアルミナ製燃焼ボートを石英管内に入れ, その中に 10 枚並べられ, 電気抵抗炉の中心に設置される. 電気抵抗炉下流にあるサンプル採取点は, 実験中にガス成分のサンプルガスを採取するために設けている. ドラフタは実験後の排ガスを回収するために設けている. ドラフタに回収された排ガスは大気開放する.

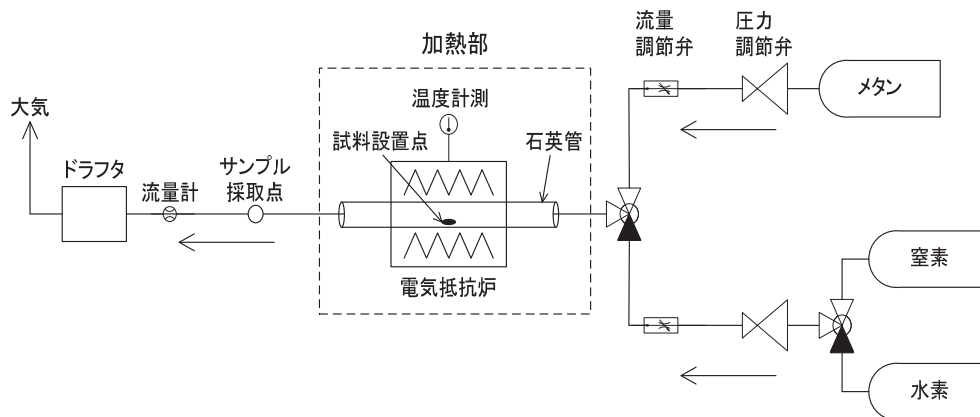


図 1 実験装置概要

表 1 実験条件一覧

温度 (°C)	500, 700, 800 (等温実験) 500~850 (昇温実験)
圧力 (MPa)	0.20
流量 (ml/min)	20
試料材質	Inco718, Inco600, A286
実験時間(min)	60 分保持 (等温実験) 40 分で 500°C~850°Cへ昇温

2.2 実験条件

本実験の実験条件を表 1 に示す. 同表からわかるように本実験は低流量, 低圧力である準静的環境における実験である. 本実験では, 実験前に先ず試験片に付着した汚れ除去するためにアセトン処理を行った. その後各試験直前には試料表面の酸化皮膜を除くため, 500°Cで水素還元を実施した. 本実験では, 実験の再現性を確認するため, ある 1 条件の実験を 2 度実施した.

2.3 分析内容

本実験では, メタン熱分解特性を評価するため, 実験前後の試料の表面状態や, ガス成分の特定, 試料表面に析出した物質の組成を解明するため, 表 2 に示す分析を行う.

表 2 分析内容一覧

分析方法	分析項目
概観観察	試料概観を観察
ガスクロマトグラフィー	実験後のガス成分を特定
マクロ・ミクロ観察	実験前後の試料表面の変化を観察
電子天秤	実験前後で試料の重量変化を調査 (0.1mg まで保証)
EPMA,XRD 分析	試料表面の組成を解明
ラマン分析	試料表面に析出した析出物の結晶構造を解明

3. 結果

3.1 実験結果

メタン熱分解実験結果例として、昇温実験結果を図 2 に、800℃等温実験結果を図 3 に、実験前後の試験片の様子を図 4 に示す。図 2、図 3 の縦軸に使用しているメタン転化率はメタンとメタン熱分解反応により発生した水素の体積割合を表し、メタン転化率 0%の時、水素は発生していない。図 2 中のメタン転化率の変化より、メタン熱分解開始温度はメタン自身では約 800℃、試料を設置した場合には約 650℃であることがわかる。これから、本実験で供した金属材料はどれもメタン熱分解反応に対する触媒効果を有していることがわかった。図 3 より一定温度下におけるメタン転化率はメタン自身では時間経過における変化は見られないが、試料を設置した場合は時間経過と共に減少する傾向が見られた。この原因は図 4 中の実験後試料から確認できる試料表面への析出物により触媒金属試料表面が覆われたことと考えられる。この析出物はメタン熱分解反応に伴い発生した炭素成分であると考えられるが分析により明らかにする。

図 4 より、実験前に金属光沢が見られた試験片表面は実験後黒く変色していることがわかる。これはメタン熱分解反応に伴う炭素成分の析出によるものと考えられ、分析により明らかにする。

3.2 分析結果

実験後試料表面には上記のように析出物が確認された。そこで実験後試料表面組成の解明のため EPMA (電子プローブマイクロアナライザー) 分析を行った。EPMA 分析による定性分析結果例を図 5 に示す。同図より、実験前試料表面では確認されなかった炭素成分が確認された。この炭素成分の結晶構造をラマン分析により解明した結果、熱分解炭素や無定形炭素であることが判明した。また XRD (X 回折法) 分析の結果、実験前後での試料内部構造に変化は見られず、析出した炭素成分は試料内部には影響しないことがわかった。

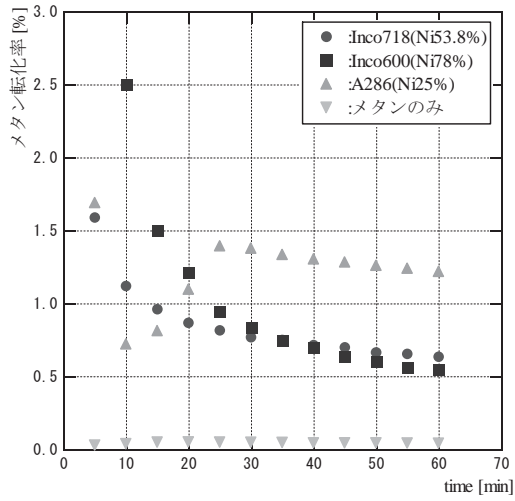


図2 800°C等温実験結果

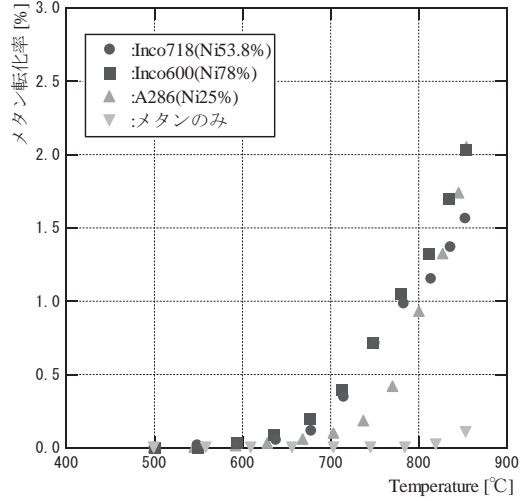
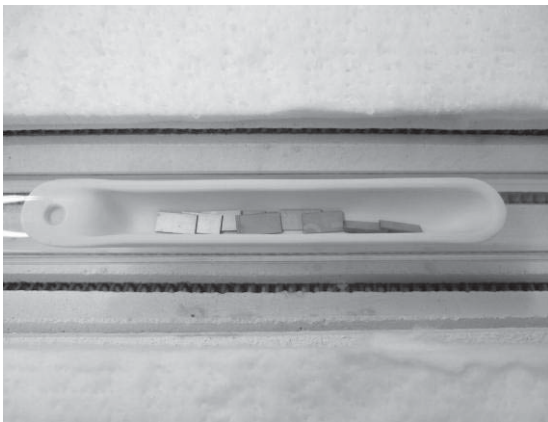
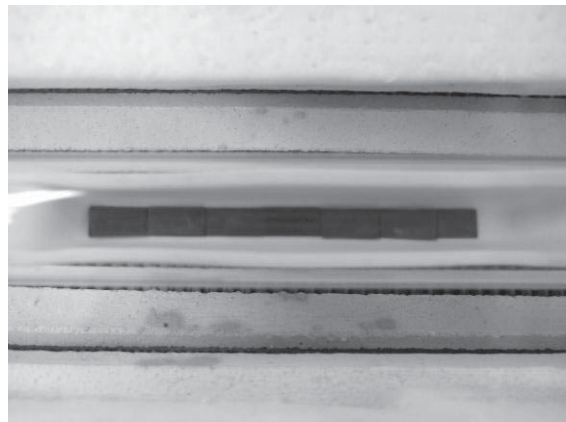


図3 昇温実験結果

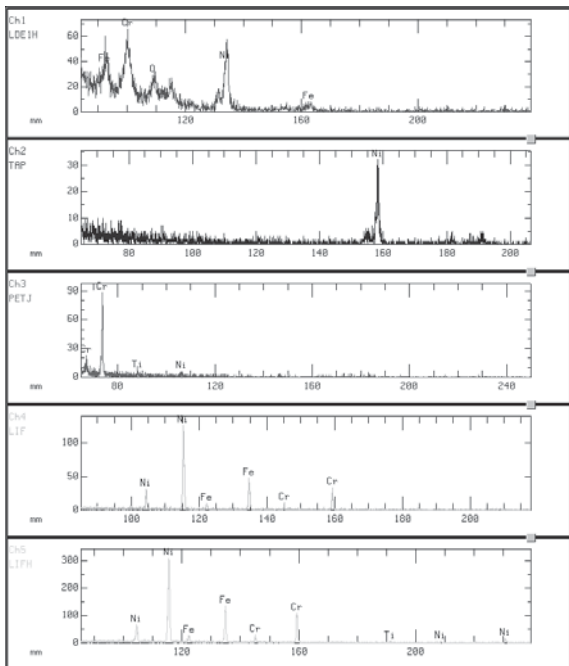


(a) 実験前

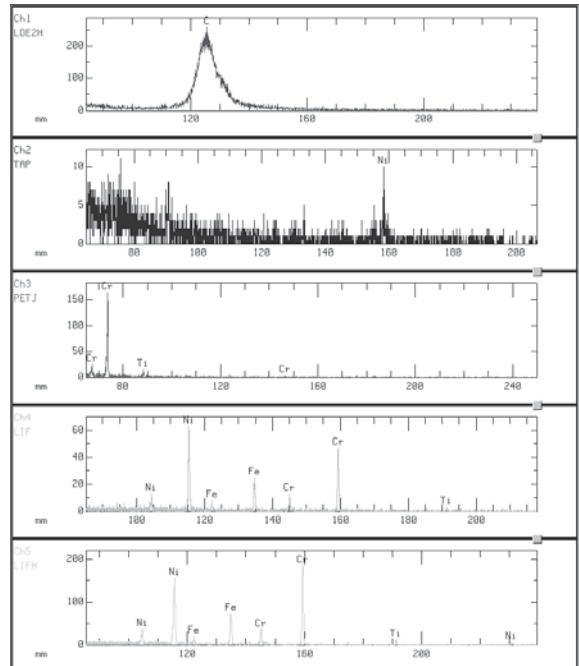


(B) 昇温実験後

図4 実験前後の試料の様子



(a) 実験前



(b) 昇温実験後

図4 EPMA分析結果例 (Inco718)

4. まとめ

本報では、メタン熱分解特性を明らかにするため、実験、ならびに分析を実施した。取得した実験データ、分析データより金属試料の触媒効果の有無によるメタン熱分解開始温度や析出物の析出量や析出厚さ、実験後試料の組成の変化について評価を行った。その結果、本研究の実験範囲ではメタン熱分解反応に伴うコーキングでは冷却溝の狭窄は見られないと考えられる。しかし、金属試料の触媒効果によりメタン熱分解開始温度が約 150°C低下することがわかり、エンジン主燃焼器やノズル設計において考慮する必要がある。今後、実機環境を模擬した動的環境（高圧、高流量）において実験を行い、本実験結果との相違を検証し実機におけるコーキング特性の評価を行う予定である。

参考文献

- 1) 秋元敏男:LNG 推進系飛行実証プロジェクトの開発状況, JAXA ホームページ, 2006.
- 2) LNG 推進系の開発:JAXA ホームページプレスリリース, 2002.

本研究に関する発表論文

- (1)東野和幸, 杉岡正敏, 小林隆夫, 湊亮二郎, 丸祐介, 笹山容資, 大塚雅也, 牧野隆, 坂口裕之 : LNG ロケットエンジンのコーキング特性に関する基盤研究, 第 51 回宇宙科学技術連合講演会 2C05, 2007.10.29/31