

## バイオエタノール分解特性・コーキング実験（その2）

著者	牟田 龍平, 笹山 容資, 泉 俊太郎, 杉岡 正敏, 東野 和幸
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	2011
ページ	60-62
発行年	2012-07
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008776">http://hdl.handle.net/10258/00008776</a>

## バイオエタノール分解特性・コーキング実験(その2)

牟田 龍平(航空宇宙機システム研究センター 研究生)

笹山 容資(航空宇宙システム工学専攻 DC3)

○ 泉 俊太郎(航空宇宙システム工学専攻 M1)

杉岡 正敏(航空宇宙機システム研究センター 特任教授)

東野 和幸(航空宇宙機システム研究センター 教授)

### 1.はじめに

現在の宇宙輸送機システムには高コスト及び十分な信頼性が得られていない等の課題がある。また、今後の宇宙開発の活発化による地球温暖化への影響から、宇宙機の燃料開発においても環境適合性が求められている。そこで、新たな燃料としてクリーン推進剤であるバイオエタノール(BE)が注目されている。BEは常温液体で無毒であり、取扱いが容易で貯蔵性が良く低コストである。またカーボンニュートラルであり、CO<sub>2</sub>排出削減にも寄与する。性能面では高密度であるためロケットの小型化が可能である。しかし、BEを燃料としたロケットエンジンの開発実績はなく、実用化の為には燃料としての基本的特性を解明する必要がある。

本研究では、BEの熱分解特性及び熱分解特性に影響を与える金属材料の触媒効果解明を目的として、準静的環境下での加熱実験を実施した。これはコーキングの発生原因となる熱分解特性を解明することが、エンジンの再使用化に必要と考えられる再生冷却にとって重要なためである。また、10t級の燃焼器形状を検討し、BE/LOXロケットエンジンの再生冷却性能を予測し、温度上昇がコーキングの影響する温度以下になることを確認した。

### 2. 熱分解特性評価

#### 2.1 実験の概要

本実験では、GN<sub>2</sub>とBEの混合ガスを石英管内に導入し加熱する。加熱された混合ガスは下流側採取点より採取し、ガス成分をガスクロマトグラフにより分析した。また、金属材料による触媒効果を把握するために試験片を石英管内に設置した。実験装置を図1に、実験条件を表1に示す。全ての実験条件として、混合気体流量は20[ml/min]、圧力は約0.1[MPaG]とした。また、次頁で述べる分析を実施し、BEの熱分解が金属材料に与える影響とコーキングの有無を評価した。

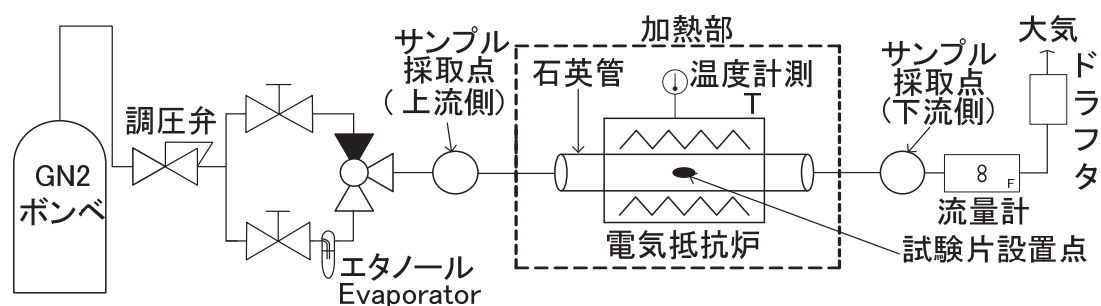


図1 実験装置概要

表 1 実験条件一覧

実験目的	実験種別	試験温度	試験時間	試験片
熱分解開始温度確認	等温実験	600~700[K]間で10[K]毎	各温度で	Ni, Inconel600, SMC, OFHC, SUS316
触媒効果確認		400~560[K]間で10[K]毎	20分	
熱分解過程解明		熱分解開始温度付近, 750[K], 850[K], 950[K], 1000[K], 1100[K]	各温度で 100分	
反応傾向確認	昇温実験	常温~1273[K]	180分	

## 2.2 熱分解特性評価実験結果

熱分解開始温度及び触媒効果の確認実験の結果を表 2 に示す。表 2 より、BE の熱分解開始温度は約 650[K]であり、金属の触媒効果による BE の熱分解開始温度は約 540~550[K]であるので、金属存在下では BE 単体の熱分解開始温度より約 100~110[K]低下することが確認された。また、BE は熱分解開始温度付近でも活発に反応し、850[K]からは BE の熱分解反応が金属触媒の有無に関わらず促進された。さらに、950[K]以上では触媒効果の有無に関わらず反応の著しい促進が確認された。

試験片等の分析結果一覧を表 3 に、代表例として Inconel600 の試験片外観写真及びラマン分析の結果を図 2、図 3 に示す。分析結果より、BE の熱分解反応はコーキングや金属材料の酸化を引き起こすことが判明した。また、熱分解生成物から熱分解反応機構を考察した。その結果、脱水素反応によりエタノールが水素とアセトアルデヒドに分解し、アセトアルデヒドの逐次的分解で炭化水素及び酸素が生成したと考えられる。

表 2 熱分解開始温度一覧

試験片	熱分解開始温度
無し(BE単体)	約650[K]
Inconel600	約550[K]
Ni	
SMC	
OFHC	
SUS316	約540[K]

表 3 試験片等分析結果一覧

分析方法	分析結果
外観観察	・熱分解開始温度を除く試験片が変色 ・850[K], 950[K]で多量の炭素が析出
ガス成分分析	熱分解生成物として水素, メタン, エタン, プロパン, アセトアルデヒドを確認
質量変化測定	外観に変化があった試験片の質量の増加を確認
EPMA	試験片表面に炭素, 酸素の付着を確認
ラマン分析	・Inconel600で $Fe_3O_4$ , $Cr_2O_3$ を確認 ・SUS316で $Fe_3O_4$ を確認 ・各試験片に無定形炭素, 熱分解炭素
XRD分析	どの試験片も内部構造に変化なし

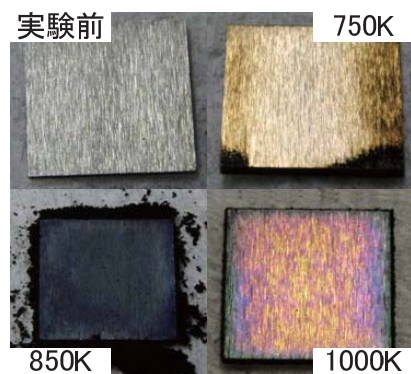


図 2 外観写真(Inconel600)

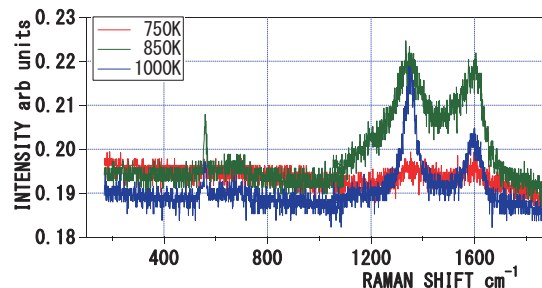


図 3 ラマン分析結果(Inconel600)

### 3. 再生冷却性能検討

化学平衡計算ソフト TEQWORKS を用いて、エンジンの理論性能検討を実施した結果を表 4 に示す。この結果から求めた推力 10t 級 BE/LOX ロケットエンジンの燃焼器形状を図 4 に示す。

本検討では壁面温度をスロート部で最大と仮定し、燃焼ガス側壁面温度を 700[K]、冷却材側壁面温度を 500[K]、冷却溝入口部で共に 288[K]、その他の断面の壁面温度は各断面半径と比例させた。冷却溝本数を 100 本とした冷却性能検討結果を表 5 に示す。同表より、冷却材温度は 288[K]から 385[K]まで上昇し、冷却溝 1 本当たり約 40[kW]のエネルギー回収が見込まれる。この結果から BE の温度は熱分解開始温度以下に収まっていることが確認された。また、熱分解開始温度まで 100[K]以上の余裕があることから、更なる高性能化を検討することが出来ると考えられる。

表 4 理論性能検討結果

項目	記号	単位	数値
燃焼圧力	$P_c$	PaA	7.00E+06
混合比	MR	-	1.85
理論膨張比	$\epsilon$	-	10
特性排気速度効率	$\eta C^*$	-	0.869
理論推力係数	$C_f$	-	1.64
特性排気速度	$C^*$	m/s	1517.9
真空中比推力	Isp	s	253.9
燃料質量流量	$m_f$	kg/s	13.9
酸化剤質量流量	$m_o$	kg/s	25.7
推進薬流量	$m_{tc}$	kg/s	39.6
ノズル出口圧力	$P_e$	MPaA	0.1086

表 5 再生冷却性能検討結果

エンジン構成箇所	断面部	燃焼ガス側壁面温度 $T_{wg}$ [K]	冷却材側壁面温度 $T_{wc}$ [K]	冷却材温度 $T_{co}$ [K]	総括熱流束 $q$ [W/m <sup>2</sup> ]
ノズル出口	冷却溝入り口部	288.00	288.00	288.0	9.20E+06
ノズル	断面1( $\epsilon=9$ )	366.92	328.61	291.5	9.89E+06
	断面2( $\epsilon=8$ )	397.85	344.52	295.1	1.10E+07
	断面3( $\epsilon=7$ )	430.54	361.34	299.2	1.23E+07
	断面4( $\epsilon=6$ )	465.34	379.25	303.7	1.40E+07
	断面5( $\epsilon=5$ )	502.74	398.50	308.7	1.66E+07
	断面6( $\epsilon=4$ )	543.40	419.42	314.7	1.99E+07
	断面7( $\epsilon=3$ )	588.38	442.57	321.7	2.61E+07
	断面8( $\epsilon=2$ )	639.44	468.84	330.9	3.62E+07
スロート部		700	500.00	345.40	1.10E+07
燃焼室(縮小部)	断面9( $\epsilon=2$ )	639.44	468.84	348.4	3.80E+07
	断面10( $\epsilon=3$ )	588.38	442.57	358.1	2.87E+07
	断面11( $\epsilon=4$ )	543.40	419.42	365.03	2.27E+07
	断面12( $\epsilon=5$ )	502.74	398.50	370.4	1.94E+07
燃焼室(円筒部)	断面13	465.34	379.25	374.8	1.68E+07
	断面14	465.34	379.25	380.30	1.70E+07
	冷却溝出口	465.34	379.25	385.76	1.71E+07

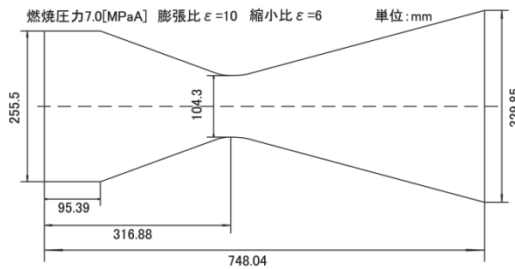


図 4 燃焼器形状

### 4. まとめ

本研究では BE の熱分解特性、及び熱分解特性に影響を与える金属材料による触媒効果の解明を目的とし、準静的環境下での加熱実験を実施した。また、再生冷却性能推算を実施し、コーキングの影響しない冷却材利用可能温度範囲を確認した。

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- BE 単体の熱分解開始温度は約 650[K]であり、金属材料の触媒効果により熱分解開始温度は約 100～110[K]低下した。
- BE の熱分解反応はコーキングを伴うため、再生冷却性能や燃焼性能が低下する可能性があることが確認された。
- 熱分解生成物として、水素、メタン、エタン、プロパン、アセトアルデヒドを確認した。また、確認された熱分解生成物から、熱分解反応機構を考察した。
- 再生冷却で冷却材は 97[K]昇温し、冷却溝 1 本当たり約 40[kW]のエネルギー回収が見込まれる。