

## Muroran-IT Academic Resources Archive



Title	熱分解吸熱反応燃料に関する研究
Author(s)	高橋, 将人; 磯田, 浩志; 棚次, 亘弘; 東野, 和幸; 湊, 亮二郎
Citation	室蘭工業大学紀要 Vol.58, pp.33-37 ,2009
Issue Date	2009-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/427">http://hdl.handle.net/10258/427</a>
Rights	
Type	Journal Article

[See also Muroran-IT Academic Resources Archive Copyright Policy](#)

## 熱分解吸熱反応燃料に関する研究

高橋将人<sup>\*1</sup>, 磯田浩志<sup>\*2</sup>, 棚次亘弘<sup>\*3</sup>, 東野和幸<sup>\*3</sup>, 湊亮二郎<sup>\*4</sup>

## Study on Endothermic Fuel

Masahito TAKAHASHI, Hiroshi ISODA

Nobuhiro TANATSUGU, Kazuyuki HIGASHINO, Ryojiro MINATO

(原稿受付日 平成 20 年 6 月 20 日 論文受理日 平成 20 年 11 月 7 日)

## Abstract

This study focuses to the heat absorption measurement of Endothermic Fuel (EF). From the view point of the easy operation, the methanol is chosen as the EF with lower endothermic reaction temperature. The endothermic reaction of methanol is caused at about 573 K by using a nickel catalyst. The experimental apparatus was verified first by water as a working fluid before the experiment using the methanol. The characteristics of the experimental apparatus such as the heat transfer and the pressure loss were obtained by the pre-experiment by using water, although the endothermic reaction is not taken in account at the water experiment. It was made it clear that the heat transfer coefficient of main heater was laid within 80 ~ 120 % of the analytical value by using water. It can be concluded from the pre-experiment using water that the temperature. In addition, the improvement of the experimental apparatus is proposed for the experiment of the methanol.

Keywords : Endothermic Fuel, Endothermic reaction, Heat Absorption Measurement, Methanol

## 1. 諸言

次世代の完全再使用型宇宙往還機には空気吸込み式エンジンの搭載が計画されており、その燃料として液体水素の利用が注目されている。液体水素は約 20 K の極低温燃料であること、比熱が大きいことから冷却としての能力に優れている。しか

し、極低温、低密度であるがゆえに貯蔵・運搬など取扱に難点がある。

一方、熱分解吸熱反応燃料 (Endothermic Fuel ; EF) と呼ばれる炭化水素系燃料は常温燃料でありながら、700 K 以上の高温環境下で熱分解吸熱反応を示すことが知られている<sup>(1) (2)</sup>。この熱分解吸熱反応を有する EF を冷媒として利用する再生冷却システムは重要な基盤技術として位置づけられている。しかし、1)炭化水素の熱分解機構の多くが未解明であり、吸熱量の定量的な評価が困難であること、2)熱分解反応によって炭素が析出し燃料の供給や吸熱伝熱特性に悪影響を及ぼすことなどが問

\*1 大学院博士前期課程機械システム工学専攻, 現 (株) TAIYO

\*2 大学院博士前期課程航空宇宙システム工学専攻

\*3 航空宇宙機システム研究センター

\*4 機械システム工学科

題として挙げられる<sup>[3]</sup>.

本研究では Ni 触媒のもと約 500 K で熱分解が起こるメタノールを供試液とし<sup>[4]</sup>, その定量的な吸熱量を測定できる装置を設計・製作する. そこでまず, メタノールを使用する前に水を用いて実験を行い, 得られたデータからメタノールに熱分解がないとした場合の推算を行う.

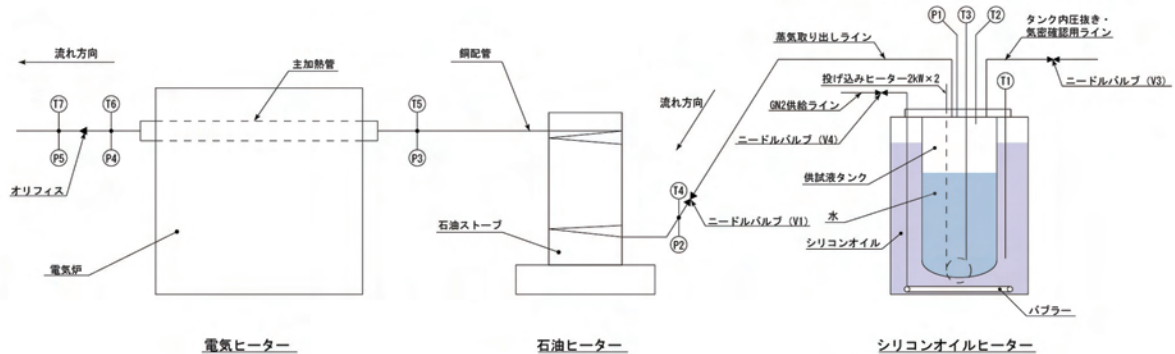
また本論文では, 現在進めているメチルシクロヘキサンを用いた研究についての展望をまとめる.

## 2. 概要

### 2.1 実験装置

図 2-1 の (a) に示す概略図では, 上流側からシリコンオイルヒーター, 石油ヒーター, 電気炉と

なっている. シリコンオイルヒーター内のシリコンオイルタンクに投入している投げ込みヒーター (八光製 BAB1220) は, シーケンサ (キーエンス製 KV-1000) によって設定温度に対して ON/OFF 制御を行う. また石油ヒーターは, CORONA 製 GH-B170F (暖房出力 17.4 kW) の石油ストーブと銅配管 (石油ストーブ周りの長さ 12260 mm, 入口直線部 300 mm, 出口直線部 320 mm, 計 12880 mm) から構成されている. 次に電気ヒーターは光洋サーモシステム製 KTF-050N1 を用いている. また主加熱管は, 半径方向に熱電対 (チノー製 K 型シース熱電対) を挿入することにより, 主加熱管の外側と内側の温度をそれぞれ軸方向に 5 点ずつ計測できるようになっている.



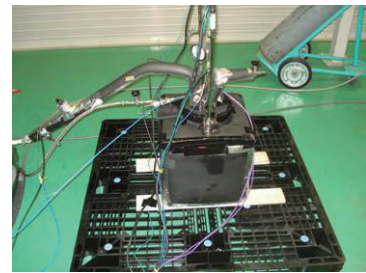
(a) 実験装置概略



(b) 電気ヒーター



(c) 石油ヒーター



(d) シリコンオイルヒーター

図 2-1 実験装置

この計測した温度により式 (1) を用いて熱伝達率  $\alpha$  を求める.

$$\alpha = \frac{Q}{(T_{iw} - T_c) \pi d L} \quad (1)$$

また, 理論的に求められる熱伝達率は, 乱流の場合 Dittus-Boelter の式を用いて下記のように表すことができる.

$$\alpha = 0.023 \text{Re}^{0.8} \text{Pr}^{0.4} \frac{\lambda_f}{d} \quad (2)$$

また, その下流に設置したオリフィスによってチョークさせることにより式 (3) よりチョーク流量を求める.

$$\dot{m} = \frac{p A_{\text{orifice}}}{\sqrt{RT}} c \sigma * \Gamma \quad (3)$$

## 2.2 解析条件

オリフィスを用いたチョーク流量を算出する際の流量係数は、オリフィス孔の径とオリフィス孔設けた継手の径の比が 0.2~0.4 の範囲にあることと、実際のロケットに使用されているオリフィス形状と同じであり、その際の流量係数が 0.6 であることから式 (3) の流量係数は 0.6 とする。

主加熱管の入口出口温度として、主加熱管端面から 103 mm にある位置の温度とする。また、伝熱区間は主加熱管内外壁温度を計測している区間 (450 mm) と定義する。実際に得られたデータはオリフィスでチョークし、且つ安定している点で評価する。

メタノールを用いる場合の検証・推算は、水を用いる実験により得られる補正係数を用い、各ヒーターでメタノールを加熱することができるか検証する。また、流量をパラメータとし、熱量との関係や主加熱管出口温度について推算する。さらに、主加熱管の出口温度を推算する際に必要な熱量は、主加熱管の目標入口出口温度でのエンタルピー差に流量をかけた値を用いる。

## 2.3 実験結果及び解析結果

水を用いた場合の実験結果を表 2-1 に示す。

水を用いた実験では、供試液タンク内の圧力は約 350 kPaA となった。そこで、メタノールでの推算を行う際には、メタノールも蒸気圧が約 350 kPaA となる 373.15 K とする。また、図 2-2 にメタノールを用いる場合の推算結果の代表的なものを示す。

## 2.4 メタノールの場合の推算結果

シリコンオイルヒーターでは、メタノールを 370 K 程度まで加熱することを想定する。水を用いる実験では、シリコンオイルの温度を 410 K まで加熱することで、水を 410 K まで加熱しているため、メタノールの目標温度が 370 K であることから、シリコンオイルヒーターの有用性があるといえる。

次に石油ヒーターは、370 K のメタノール蒸気を 570 K まで加熱することを想定する。水を用いた実験でのエンタルピー差とメタノールの目標温度に対するエンタルピー差を比較すると、水の場合のエンタルピー差とメタノールのエンタルピー差はほぼ同程度であることがわかる。そのため、石油ヒーターを用いてメタノール蒸気を 370 K から 570 K まで加熱することは可能であると言える。

電気炉については、570 K から 620 K まで加熱することを想定する。そこで図 2-2 に示す熱量と流量の関係から、水を用いて行った実験より得られる補正係数を用いることで、メタノールを目標温度まで上昇させるために必要な熱量を水を用いた場合と比較すると、補正係数が 2.7 の場合に水を用いた実験と同程度になっていることがわかる。また、補正係数は 2.7 で最大であることから、メタノールを目標とする 620 K まで加熱することは可能であるといえる。

図 2-3 に電気炉設定温度を 600 °C とした場合のメタノール蒸気の主加熱管出口温度を推算した結果を示す。図 2-3 より流量が増加するにしたがって出口温度が減少することがわかる。また、主加熱管出口温度を 620 K とするためには、電気炉設定温度が 500 °C の場合に約 0.6 g/s、550 °C の場合に約 1.5 g/s、600 °C の場合に約 3.0 g/s の流量とすれば良いことがわかる。このことから電気炉設置温度は流量を増加することで出口温度は減少し、目標とする出口温度に対して適切な流量であるといえる。次に主加熱管内の温度差は、流量が増加するにしたがって直線的に増加する。ここで、主加熱管内の温度差を 5 K とする場合には、約 1.2~3.2 g/s の流量をすると良いといえる。

## 3. 結言

熱分解反応を伴う吸熱量の測定を目的とし、熱分解温度の低いメタノールの利用を想定した。まず水を用いて実験を行い、熱伝達率等の補正係数を求めた。その結果、流量はオリフィス径が 2 mm の場合約 0.4 g/s、オリフィス径が 3 mm の場合、約 0.9 g/s、オリフィス径が 4 mm の場合では約 1.8 g/s の流量を実現することが示された。熱伝達率については図 3-1 に示すように、実験値は解析値に比べ約 80~120 % の値を示すことが示され、伝熱量の補正係数は 0.84、主加熱管出口温度の補正係数は 1.5~2.7 になることが示された。また、水を用いた実験装置はメタノールを用いた場合でも有用であることが示された。

## 4. 今後の展望

2009 年、アメリカ空軍と NASA において研究開発されている Endothermic 効果を利用した X-51 機が初飛行を迎える。航空宇宙機システム研究セン

ターとしても現在, JP-7 の組成の 2~3 割を占めるメチルシクロヘキサンを研究対象とし, その冷却特性を把握すべく, パルス式反応装置や少流量実験装置を用いて, 熱分解特性や数値解析を進めている。

ここで, 現在までのメチルシクロヘキサンの研究の成果について記述する。

メチルシクロヘキサンは脱水素反応の場合, 液化メタンや他の EF よりも総吸熱量ははるかに高い値を示すことがわかっており, 私共も熱分解による吸熱量の測定だけではなく, 脱水素反応による吸熱量の測定を試みようとしている。

まず, メチルシクロヘキサンの熱分解反応の特性を把握するために触媒が無い状態で実験を行った。実験ではガラス管を用いて行ったため, ガラス管の限界温度, 約 550 °C では反応させるまでには至らなかった。そこで, ステンレス管を用いて実験を行った結果, メチルシクロヘキサンは約 600 °C で熱分解がはじまり, 約 700 °C までは (C1 ~ C6 等の直鎖状炭化水素) へと結合が切れる分解反応を示すが, 750 °C の温度で加熱すると, 低級炭化水素への熱分解とは別に, 脱水素反応も起こ

ることがわかった。

次にニッケル触媒を用いて実験を行った。その結果, 低い温度から低級炭化水素へと熱分解する反応を活性化させることがわかった。

研究し始めの当初はニッケル触媒を用いることで, メチルシクロヘキサンは脱水素反応を起こすだろうとにらんでいたが起こらなかった。今後は他の金属触媒 (白金等) を用いて脱水素反応を試みる予定である。

## 5. 参考文献

- (1) He Huang, Louis J. Spadaccini, David R. Sobel, “Fuel-Cooled Thermal Management for Advanced Aeroengines”, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, APRIL 2004, Vol.126
- (2) D.H.Petley, S.C.Jones, “Thermal Management for a Mach 5 Cruise Aircraft Using Endothermic Fuel”, Journal of Aircraft, Vol.29, No.3, pp.384-389, May-June, 1992.
- (3) L.S.Ianovski, V.A.Sosounov, Yu.M.ShinkHman, “The Application of Endothermic Fuels for High Speed Propulsion Systems”, Aiaa paper, ISABE 97-7007, 1997.
- (4) 高活性なメタノール分解触媒の開発, <http://www.techno-qanda.net/dsweb/Get/Document-4941/420901.PDF>, 産業技術総合研究所, 合成化学研究室

表 2-1 水を用いた場合の解析結果

		1	2	3	4	5	6
$\dot{m}$ [g/s]	Exp.	-	0.46	0.39	0.40	0.89	1.76
$Q$ [W]	Exp.	112.96	104.31	115.75	109.84	277.40	485.25
Modification coeff.		-	2.53	2.51	1.45	2.58	2.67
Modification coeff. of $T_6$		-	0.86	0.82	0.82	0.84	0.85
$\alpha$	Exp.	-	63.06	51.46	39.37	113.57	202.23
[W/m <sup>2</sup> K]	Analysis	-	59.21	50.60	52.01	100.5	173.44
Modification coeff.		-	1.07	1.02	0.76	1.13	1.17

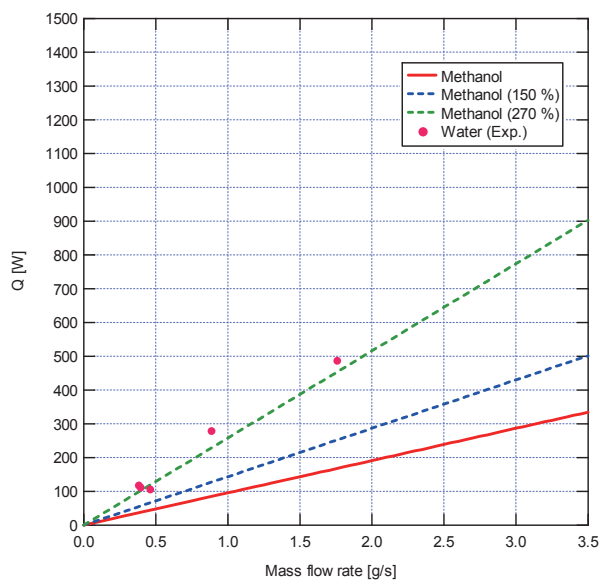


図 2-2 熱量と流量の関係.

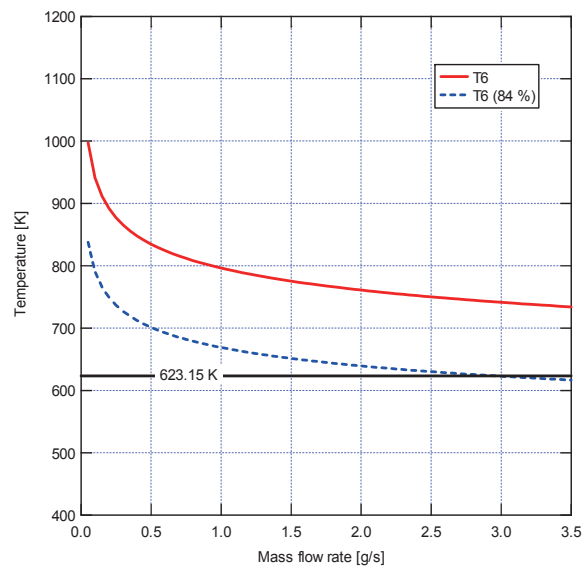


図 2-3 主加熱管出口温度と流量の関係

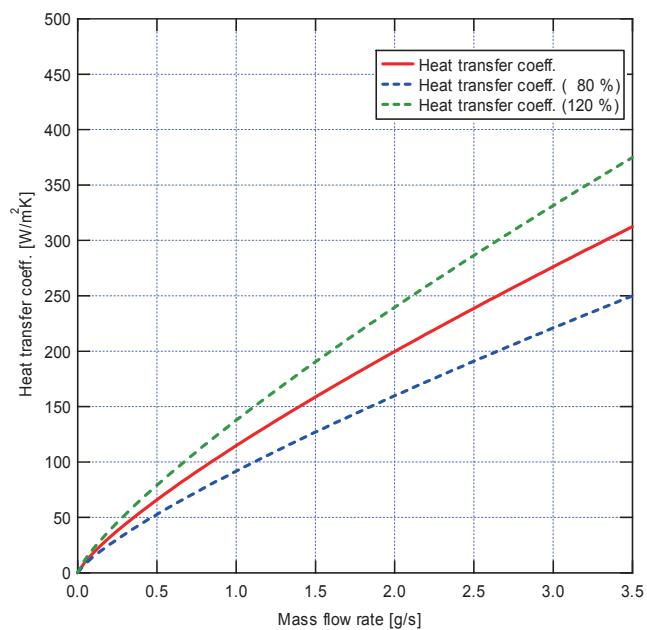


図 3-1 熱伝達率の推算結果