

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：15501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2022～2023

課題番号：22K20416

研究課題名（和文）炭化水素系ロケット固体燃料から発生する熱分解ガスの低分子量化に向けた研究

研究課題名（英文）Study on the pyrolysis of hydrocarbon hybrid rocket fuel

研究代表者

坂野 文菜（Banno, Ayana）

山口大学・大学院創成科学研究科・講師

研究者番号：40961735

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本申請では、炭化水素系ハイブリッドロケット燃料の高性能化を目指し、ロケット燃焼の特徴的な環境に対応した計測技術を用いて燃料の熱分解挙動をモニタリングし、高温・高加熱速度環境で発生する熱分解ガス成分が低分子量化することを目的としている。反応活性が非常に高いと予想される熱分解ガスの変成影響を十分に抑制したリアルタイムな計測技術としてイオン付着イオン化質量分析計とスキマーインターフェースシステムの計測技術の確立を行った。熱分解ガスの低分子量化を促進させる添加触媒を検討するためにディーゼルエンジン研究で先行されているエタノールやヘプタンを使用し、添加量とその効果について熱分析装置にて評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国内外のハイブリッドロケット研究の大部分は、試行錯誤的な経験則での燃料の試作・燃焼効率評価を進めているが、高温・急速加熱環境における相変化および熱分解プロセスを化学的な側面からアプローチする研究は存在せず、本研究が当該分野の先駆的研究となる。また、本研究は高温・急速加熱環境での現象をリアルタイムに捉えることは、高分子材料の燃焼分野で最も革新的な技術開発である。更に、高分子液体の局所熱分解特性が明らかになることで分子設計を理論的に展開できるため、カーボンニュートラル燃料や防災樹脂など高性能燃料の開発にも大きく貢献する。

研究成果の概要（英文）：This study aims to improve the performance of hydrocarbon-based hybrid rocket fuels by measuring the pyrolysis behavior of the fuels using measurement techniques that correspond to the typical environment of rocket combustion and the low molecular weight of the pyrolysis products that occur in high temperature and high heating rate conditions. We developed a real-time measurement technique for ion attachment ionization-mass spectrometer and skimmer interface system as a real-time measurement technique with sufficient suppression of pyrolysis gas degeneration. In order to investigate catalyst additions that product low molecular weight of pyrolysis gas, diesel engine research has been conducted using ethanol and heptane, and the amounts and effects of catalyst additions were evaluated using a thermal analyzer.

研究分野：推進工学

キーワード：急速熱分解 ハイブリッドロケット 固体燃料 熱分析 イオン付着イオン化法 スキマーインターフェースシステム

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

宇宙推進工学の分野で固体ロケットが重要な位置を占めているが、従来型の燃料は燃焼時に有毒ガス(塩化水素)や金属微粒子を放出するため、宇宙産業の勃興に伴うロケット打上げ数の増加は環境負荷を深刻なものにする。このため、一般的な高分子材料を用いた低環境負荷のハイブリッドロケット燃料の研究開発に重点が置かれている。炭化水素をメイン成分とする低融点系燃料は高分子材料が持つ燃焼速度の低さを改善した一方で、未燃の燃料の排出が多いために大きな推進性能を得ることが出来ていない。燃料と酸化剤の混合を促す研究は数多く存在するが、システムの重量増加を招きかねない。ロケット燃焼場の高温・高加熱速度環境における固体燃料のガス化に着目した組成改善の研究は行われていない。

ハイブリッドロケット固体燃料の高性能化を実現するために解決すべき課題は、以下の2つである。

(課題1) 高温・高加熱環境における熱分解反応機構4)：固体燃料の燃焼効率を高めるためには、反応活性が非常に高いと予想される熱分解ガスの変成影響を十分に抑制したリアルタイムな計測を実施し、熱分解挙動を知ることが急務である。従来の研究では、特徴的な環境に対応した有効な計測技術がないため、経験則に基づく燃料の試作と燃焼効率評価を軸に推進されてきた。また、固体燃料の熱分解反応経路が火炎温度やガス分子量に与える影響は明らかになっていない。

(課題2) 熱分解ガス成分の低分子量化(本研究)：一般的なハイブリッドロケットは燃料表面から火炎帯に至る領域が高温の燃料過多領域であり、熱分解ガスの低分子量化を阻害する芳香族炭化水素の生成に適した環境5)であると考えられる。そこで、高温・高加熱速度環境で発生する熱分解ガスの低分子量化に向け、適切な触媒を選定する必要がある。

2. 研究の目的

炭化水素を用いたロケット固体燃料の燃焼ガス成分を低分子量化することが本研究の目的である。課題解決のため(課題2)を2つのテーマに細分化する。

【テーマA】スキマーインターフェースシステムを用いた熱分解ガスのリアルタイム計測

【テーマB】低分子量化を促進させる添加触媒の評価

3. 研究の方法

【テーマA】スキマーIFを用いた熱分解ガスのリアルタイム計測：課題1で開発された質量分析計をベースに、高温・高加熱速度環境で発生する炭化水素系燃料の熱分解ガスを複数の熱分解温度で計測する。各熱分解温度で得られる発生気体成分の分子量情報から、熱分解に伴う低分子量化がどのように進行しているかを明らかとする。

【テーマB】低分子量化を促進させる添加触媒の評価：環境分析の分野で研究されている芳香族化合物の生成を抑制する触媒を参考に炭化水素系燃料の発生気体挙動に与える効果を評価する。テーマAの計測装置と低分子量や芳香族炭化水素の検出に特化した質量分析計の計測結果を比較することで、低分子量化を促進させる触媒の選定が可能となる。

4. 研究成果

本申請では、炭化水素系ハイブリッドロケット燃料の高性能化を目指し、ロケット燃焼の特徴的な環境に対応した計測技術を用いて燃料の熱分解挙動をモニタリングし、高温・高加熱速度環境で発生する熱分解ガス成分が低分子量化することを目的としている。手始めとして、スキマーインターフェースシステムを用いた熱分解ガスのリアルタイム計測を実施した。

・反応活性が非常に高いと予想される熱分解ガスの変成影響を十分に抑制したリアルタイムな計測技術として、有機化合物の分子イオン検出性能に優れるイオン付着イオン化質量分析計(IA/MS)と高速加熱炉をダイレクトに接続するスキマーインターフェースシステム(スキマーIF)を取り入れた分析装置内部の圧力バランスの確立および熱分解ガスの安定的な計測技術の確立を行った。事前検討で焦点を当てたヘリウムガス供給圧力：窒素ガス供給圧力=50:50の雰囲気ガス条件は測定対象である高分子材料の熱分解ガスを高強度に測定することが可能であり、このとき最も安定して検出できる高速加

熱炉とスキマーIF先端の距離を見出した。

・上述した測定装置を用いて測定対象となるパラフィン系やブタジエン系の高分子材料の急速熱分解ガスをキュリー温度（室温から急速昇温させる目標温度）1040℃で測定した。その結果、従来の低速昇温条件で得られる分子量帯より低い熱分解ガスが得られると同時に、不活性雰囲気条件下において芳香族炭化水素の発生が確認された。芳香族炭化水素の発生は従来型のキャピラリー接続型質量分析計の測定結果を支持する。

・熱分解ガスの低分子量化を促進させる添加触媒を検討するために、まず手始めにディーゼルエンジン研究で先行されているエタノールやヘプタンを使用し、添加量とその効果について熱分析装置にて評価した。パラフィンオイルにエタノールもしくはヘプタン、そして界面活性剤を添加して乳化させた。パラフィンオイルにエタノールもしくはヘプタンを20wt%程度混練させた溶液では、パラフィン単体と比較して熱分解温度の低下が認められた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Ayana Banno, Yutaka Wada, Yuji Mishima, Takahisa Tsugoshi, Nobuji Kato, Keiichi Hori, Ryo Nagase
2. 発表標題 Flash pyrolysis behaviour for rocket fuels by Py-IA/MS with a skimmer interface
3. 学会等名 23rd edition of the International Conference on Analytical and Applied Pyrolysis (PYR02022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂野文菜, 和田豊, 三島有二, 津越敬寿, 加藤信治, 堀恵一
2. 発表標題 試料観察TGとEGA-IA/MSによるロケット燃料用多成分系熱可塑性樹脂の相変化反応の解析
3. 学会等名 第27回高分子分析討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂野文菜, 小松健, 和田豊, 三島有二, 津越敬寿, 加藤信治, 堀恵一
2. 発表標題 ロケット燃料の燃焼反応プロセス解明に向けた瞬間熱分解生成物の計測手法の研究
3. 学会等名 2022年度火薬学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田道也, 坂野文菜, 和田豊, 三島有二, 加藤信治, 堀恵一, 戸野倉賢一
2. 発表標題 ハイブリッドロケット燃料用低融点熱可塑性樹脂/含酸素添加剤の熱分解生成ガス分析
3. 学会等名 2022年度火薬学会秋季研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤田道也, 坂野文菜, 和田豊, 三島有二, 加藤信治, 堀恵一, 戸野倉賢一
2. 発表標題 ハイブリッドロケット燃料用低融点熱可塑性樹脂材料/アルコール混合系の熱分解反応機構解析
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	和田 豊 (Wada Yutaka)		
研究協力者	三島 有二 (Mishima Yuji)		
研究協力者	津越 敬寿 (Tsugoshi Takahisa)		
研究協力者	堀 恵一 (Hori Keiichi)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------