

令和 4 年 5 月 30 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02078

研究課題名(和文) 次世代バイオ燃料を構成する飽和炭化水素異性体の燃焼特性解明と反応機構構築

研究課題名(英文) Fundamental investigation and modeling of combustion characteristics of alkane isomers contained in next generation bio-fuels

研究代表者

下栗 大右 (Daisuke, Shimokuri)

広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授

研究者番号：40432687

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究で高耐圧反応容積制御型衝撃波管が構築された。これにより燃焼器において重要なパラメータである着火遅れ期間を高精度に計測可能であることが確認された。該衝撃波管で次世代バイオ燃料を構成する飽和炭化水の着火遅れを計測し、高分岐異性体では低温側の着火遅れが長期化することが判明した。また、既存バイオ燃料として知られるエタノールを混合すると、高温側の着火遅れが短縮化されることも明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で構築された衝撃波管は、燃焼分野において初めて10atm以上で反応容積制限法(CRV法)を導入したもので、着火遅れの計測精度を大幅に向上させるものである。本装置の構築によって、今後燃焼数値計算の精度向上が期待される。計測された着火遅れから、次世代バイオ燃料の着火特性が明らかとなった。また、エタノールとの混合の影響も明らかとなった。これらの結果は、次世代バイオ燃料や既存バイオ燃料であるエタノールの利用指針となるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, high pressure shocktube with constrained volume strategy (HPST-CRV) has been successfully developed. Chemical ignition delay time (IDT), which is important parameter for combustors can be measured accurately for high pressure condition up to 30atm. IDT of saturated hydrocarbons obtained with HPST-CRV show that IDT is longer for highly branched isomers especially in low temperature conditions less than 1000K. By mixing ethanol, which is currently used bio-fuel, IDT in high temperature region is found to be shortened.

研究分野：燃焼工学

キーワード：燃焼 次世代バイオ燃料 着火遅れ 燃焼速度

1. 研究開始当初の背景

石油代替として期待されるバイオ燃料であるが、最近、このバイオ燃料を既存インフラに改変することなく利用できるような処理が提案されている。その手法により製造された次世代バイオ燃料（水素化脂肪酸燃料）は、高分岐飽和炭化水素によって構成されること、さらにはその分率が50%にも達する可能性があると考えられる。しかし、そのような燃料の燃焼特性（着火遅れ・燃焼速度）は完全に理解されておらず、詳細に解明する必要がある。

2. 研究の目的

本研究では高度分岐飽和炭化水素の燃焼特性（着火遅れ、燃焼速度、燃焼排ガス）を明らかにすることを目的とする。本研究では、燃焼特性の中でも火炎の成立を左右する着火遅れ期間について重点的に明らかにする。実験的には、新規に低ノイズ衝撃波管を作成し、過去に例のない高精度なデータの取得を試みる。最終的には、次世代バイオ燃料の反応機構を解明し、どのような組成が適しているかの提案を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では反応容積型衝撃波管（HPST-CRV：High Pressure Shocktube with Constraint Volume strategy）を構築・使用する。反応容積制限型衝撃波管は近年 Stanford university のグループによって提案された手法で、着火遅れを高精度に計測可能な装置である。これまで10atmまでの圧力でしか採用された実績がないが、本研究では新たに30atmで着火遅れを計測可能な衝撃波管を構築する。なお、本研究では衝撃波管本体に加え、無角膜型、高圧ガス混合装置、高速ピストン開放装置も同時に開発し、混合気の準備からショットまでの実験を短時間で完結可能となっているほか、ピストンを利用した無角膜型衝撃波管における欠点を補う「高速ピストン開放装置」によって、理論値に近い入射衝撃波速度が得られる、つまり実験温度をより高精度に制御可能な装置となっている。

4. 研究成果

(1) 衝撃波管の構築

本研究では高耐圧型の反応容積制限型衝撃波管の構築を完了した。反応容積制限型衝撃波管は着火遅れを高精度に計測可能な技術として期待されているが、過去には10atmまでしか採用された例がなく、本研究では世界初30atmまでの条件において該手法による着火遅れの計測を実現した。図1に構築された衝撃波管の概要を示す。

始めに衝撃波管の検証を行った。過去に検証されたガソリンサロゲート燃料について、温度・当量比をさまざまに変化させて着火遅れを計測した結果、ショット毎のばらつきが非常に小さなデータが得られた。図2にはガソリンサロゲート燃料（S5R）に対して、30atm、当量比1の条件で計測された圧力履歴であるが、30気圧が約20ms間持続されたのち、急激な圧力上昇があり、自着火していることが分かる。また、実験で得られた着火遅れは、KUCRSによる詳細反応計算で良く再現されることも確認された。なお、1ショット毎の使用燃料量は従来の1/5以下に抑制されている。

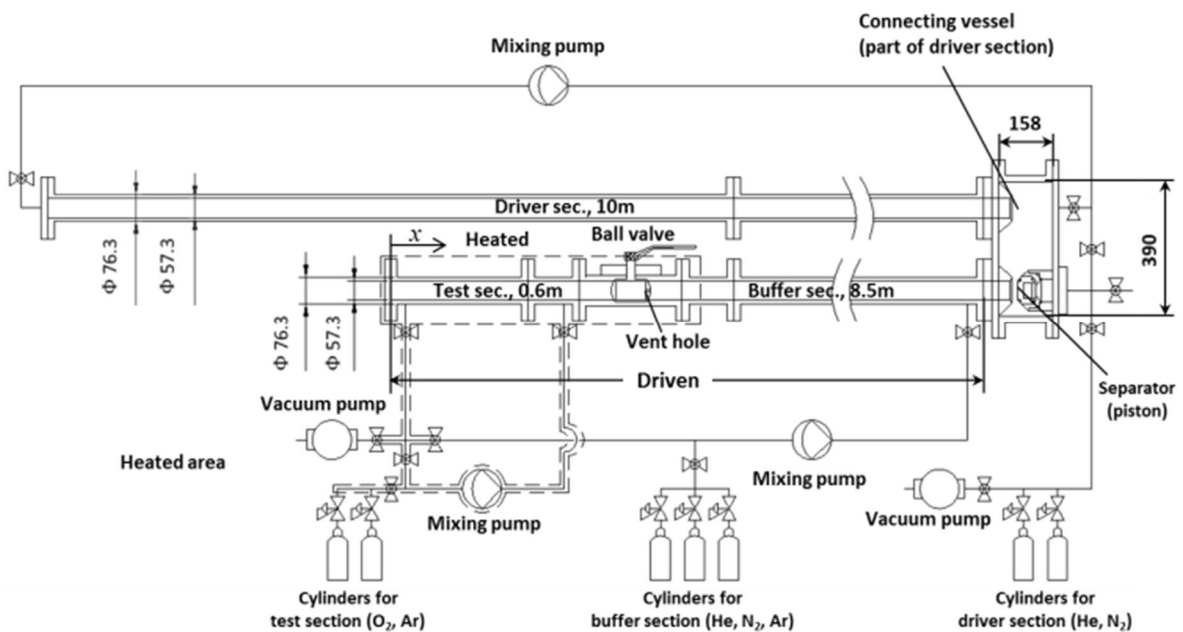


図1. 高耐圧反応容積制限型衝撃波管の概要

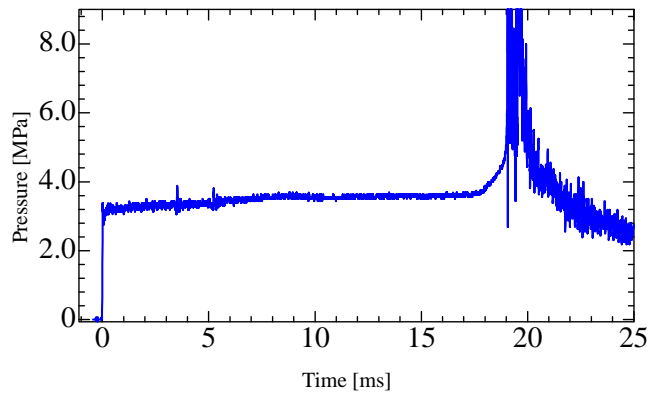


図 2 . 反応容積制限型衝撃波管で得られた S5R/O₂/Ar の圧力履歴 (680K, 30atm, $\phi=1.0$)

(2) 飽和炭化水素燃料の着火遅れ

飽和炭化水素で構成される次世代バイオ燃料の着火遅れを基礎的に解明するべく, C₉ 異性体(n-C₉, 2-methyloctane, 2,4-dimethylheptane, 2,2,4,4-tetramethylpentane) の着火遅れを計測した . 上記の異性体の着火遅れを様々な当量比で得ることに成功し, 高分岐異性体では 1000K 以下での着火遅れが長期化することが明らかとなった . また, 国際共同研究で上記異性体の一部の燃焼速度を計測した . 結果, 高分岐異性体では燃焼速度が低下する傾向をとることが判明し, 次世代バイオ燃料の燃焼特性を基礎的に明らかにした . さらに, 着火遅れ, 燃焼速度共に KUCRS による詳細反応機構を用いた数値計算で高精度に再現されることが確認された .

(3) エタノール混合の影響

本研究では, 代表的な既存バイオ燃料であるエタノールを混合し, その燃焼に及ぼす影響についても調査した . ここまでに飽和炭化水素のみの混合では着火遅れ期間の制御範囲が 1000K 以下に限定されることが判明している . これに対してエタノールでは, 多種燃料にわずかに混合することで 1000K 以上の高温側の着火遅れを大幅に短縮可能であることが判明した .

(4) 生成物に注目した C₂H₂ の計測

アセチレン (C₂H₂) は, 特に粒子状物質 (すす, PM) の生成・成長を支配する物質として知られる . 本研究では衝撃波管を用い, 燃焼場においてアセチレンを計測するのに必要な「吸収係数」の計測も行った . 10atm までの条件で吸収係数の計測を得ることに成功し, Hanson らのグループにより 4atm まで計測されていたが, 10atm における計測により高圧条件での C₂H₂ の吸収計測が可能となった

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Yamada Shimpei, Shimokuri Daisuke, Shy Shengyang, Yatsufusa Tomoaki, Shinji Yuta, Chen Yi-Rong, Liao Yu-Chao, Endo Takuma, Nou Yoshihisa, Saito Fumihiko, Sakai Yasuyuki, Miyoshi Akira	4. 巻 227
2. 論文標題 Measurements and simulations of ignition delay times and laminar flame speeds of nonane isomers	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Combustion and Flame	6. 最初と最後の頁 283 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.combustflame.2020.12.043	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 YAMADA Shimpei, SHIMOKURI Daisuke, YATSUFUSA Tomoaki, SAKIMA Toshiaki, ENDO Takuma, NOU Yoshihisa, SAITO Fumihiko, MIYOSHI Akira	4. 巻 62
2. 論文標題 Measurement and Numerical Simulation on the Ignition Delay Times of Nonane (C9H20) Isomers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 64 ~ 73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.1904	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 2件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 進士 勇太, 下栗 大右, 寺島 洋史, 三好 明, 山田 眞平, 八房 智顯, 乃生 芳尚, 斉藤 史彦
2. 発表標題 着火遅れ測定高精度化のためのセクション間混合層を考慮した衝撃波一次元数値解析
3. 学会等名 熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 進士 勇太, 下栗 大右, 寺島 洋史, 三好 明, 山田 眞平, 八房 智顯, 乃生 芳尚, 斉藤 史彦
2. 発表標題 混合層を考慮した衝撃波管の一次元詳細反応CFDによる着火遅れ期間予測
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Akitoshi KATAYAMA, Yuta SHINJI, Yi-Rong Chen, Yu-Chao Liao, Shimpei YAMADA, Daisuke SHIMOKURI, Tomoaki YATSUFUSA, Fumihiko SAITO, Akira MIYOSHI, Shenqyang Shy
2. 発表標題 ノナン (C9H20) 構造異性体の着火遅れ期間と燃焼速度の測定と反応経路解析
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shimpei YAMADA, Daisuke SHIMOKURI, Tomoaki YATSUFUSA, Takuma ENDO, Yoshihisa NOU, Fumihiko SAITO, Akira MIYOSHI
2. 発表標題 Shock tube study of ignition delay time of n-nonane and 2,2,4,4-tetra-methyl-pentane
3. 学会等名 12th Asia Pacific conference on Combustion (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山田 眞平, 進士 勇太, 下栗 大右, 八房 智顯, 遠藤 琢磨, 乃生 芳尚, 斉藤 史彦, 三好 明
2. 発表標題 フラン類の混合が飽和炭化水素の着火遅れに及ぼす影響
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 進士 勇太, 下栗 大右, 寺島 洋史, 三好 明, 山田 眞平, 八房 智顯, 乃生 芳尚, 斉藤 史彦
2. 発表標題 一次元詳細反応CFDによる衝撃波管内での炭化水素の自着火現象の解析
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下栗 大右
2. 発表標題 輸送機器用の次世代液体バイオ燃料の燃焼特性
3. 学会等名 第31回中四国伝熱セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 下栗 大右
2. 発表標題 輸送機器向け次世代液体バイオ燃料の燃焼
3. 学会等名 日本伝熱学会関西支部第26期講演討論会（招待講演）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究成果は逐次広島大学燃焼工学研究室HPにて公開予定。 広島大学燃焼工学研究室 Research https://home.hiroshima-u.ac.jp/flame/research.html</p>

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
研究分担者	三好 明 (Miyoshi Akira) (60229903)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・教授 (15401)	

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			
台湾	台湾国立中央大学			