

令和 5 年 6 月 8 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04311

研究課題名(和文) 分子拡散特性を活用した組成と乱流特性の最適化による着火制御法に関する研究

研究課題名(英文) An ignition control method with optimizations of the composition of mixture and turbulence characteristics based on molecular diffusion characteristics

研究代表者

中原 真也 (Nakahara, Masaya)

愛媛大学・理工学研究科(工学系)・教授

研究者番号：20315112

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、超希薄混合気や高強度の等方性やスワールの乱流場に対して着火制御法を検討した。その結果、メタン、プロパンおよび水素の燃料の種類、窒素、アルゴンおよび二酸化炭素の希釈ガスの種類および水素の添加量並びに層流燃焼速度の差異によらず、まず層流場で微小火炎な火炎の燃焼速度の検討から、火炎半径 $r_f=4\text{mm}$ の燃焼速度SLIはルイス数と良い線形的な良い相関関係にあることを明らかにした。さらに、乱流場での最小点火エネルギーについて検討し、乱流場での着火特性は、提案する $r_f=4\text{mm}$ のSLIを基準とする乱流カーロビッツ数を用いると、概ね着火特性が急激に悪化する遷移領域を予測できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で提案する微小層流火炎の火炎半径 $r_f=4\text{mm}$ の燃焼速度SLIを基準とする乱流カーロビッツ数を用いると、乱流強度の増加に伴い悪化する着火特性を、安定的に着火できる領域と急激に着火特性が悪化する遷移領域を予測できる。この成果は、内燃機関であれば、炭化水素燃料の超希薄混合気がかつ高強度ガス流動場での着火特性を予測できることになり次世代エンジンの設計に有用な知見となる。さらに、水素利用社会においては、危険な燃焼特性を有する水素をどうすれば着火・爆発させずに安全に利用できるかを示す指針になり有用である。本研究成果は極めて学術的かつ社会的に意義は大きいと考える。

研究成果の概要(英文)：In this study, an ignition control method had been investigated for ultra-lean fueled mixtures and for high-intensive isotropic-homogeneous and swirl turbulent fields. First, from the investigation of the burning velocity of meso-scale flames in a laminar flow field (quiescence), it was clarified that the burning velocity SLI with the flame radius $r_f = 4\text{ mm}$ has a good linear correlation with the Lewis number regardless of the type of fuel (methane, propane and hydrogen), the type of diluent gas (nitrogen, argon and carbon dioxide), the hydrogen additional rate and the laminar burning velocity. Furthermore, from the investigation of the minimum ignition energy, MIE, in a turbulent field, it was found that the transition region of MIE in turbulence, where the ignition characteristics deteriorate rapidly, could be summarized by using the proposed turbulent Karlovitz number $KaT4$ based on SLI at $r_f = 4\text{ mm}$ in quiescence.

研究分野：熱工学 燃焼工学 科学教育

キーワード：予混合燃焼 着火促進 微小火炎 乱流場 燃焼速度 火炎伸長 水素 ルイス数

1 . 研究開始当初の背景

エネルギー自給率が8%程度と低い我が国においては最適なエネルギーミックスを構築することが喫緊の課題である。その解決手段の一つの燃料として、使用時にはCO₂を排出しない、さらに再生可能エネルギー等のエネルギーキャリアとしても期待される水素を活用[1]することは論をまたない。しかしながら、水素は一般的な燃料より最小点火エネルギーが小さいなど爆発等の事故リスクが増大する。一方、限りある化石燃料に対しても、近年例えば低NO_x化や熱効率向上のために高強度乱流場かつ高EGR(排気ガス再循環)下での超希薄予混合燃焼技術の開発が注目[1]されている。しかし、希薄化・高EGR化・高強度乱流化が進むと、火炎温度の低下などにより難燃化し、失火などの燃焼不安定化が問題となる。この問題を解決する一つの対策として、優れた燃焼特性を有する水素を活用することが考えられる[2]。

上述のように次世代内燃機関や水素の安全利用には、高強度乱流場で超希薄等の難燃条件を含む多種多様な混合気に対応可能な、特に、燃焼の開始となる着火や火炎核形成を確実に促進又は逆に抑制する着火制御法の構築は必要不可欠な課題である。これまでは、この様な難燃条件での着火促進に関しては点火エネルギーの増大や多点点火またはプラズマを利用した点火装置の研究や開発が主で、乱流特性としては静止場か、旋回流のみか又は等方性乱れ場のみをどちらかを対象とした研究が大半である。一方、水素添加による希薄乱流燃焼の促進に関しては、炭化水素の可燃範囲での検討が主である。また、着火のモデル化に関しては、乱流強度に従い着火が抑制される遷移領域に関してShyら[3]による興味深い包括的な整理法が提案されているものの層流燃焼速度 S_{L0} を基準とした従来型モデルの研究[4]が殆どである。

そこで、これまで利用できていない高強度乱流場かつ炭化水素の可燃限界以下の超希薄を含む多様な混合気に対して、その組成や乱流特性さらに S_{L0} ではなく微小な火炎の実質的な燃焼速度に着目し、着火遷移領域を解明し着火促進や抑制を図れる新たな着火制御法を開発することは重要である。

2 . 研究の目的

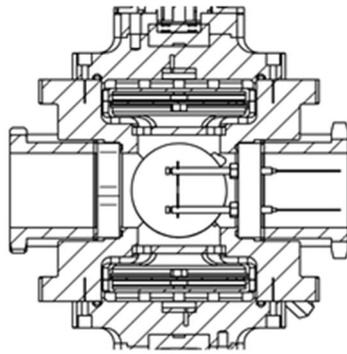
これまでに主に層流・静止場での着火や微小な火炎核形成において分子拡散特性やレイ数 Re が、一般的なサイズの火炎に増して重要であることを明らかにしてきた。本研究では、この知見を応用し、限りある炭化水素燃料やCO₂フリー燃焼である水素の高度有効利用および安全利用するために、燃焼特性のみならず分子拡散特性に優れた水素の活用による混合気組成および乱流特性の最適化により、超希薄や高強度の乱流場まで適応できる包括的な着火制御法の構築を目的とする。具体的には、等方性乱れ場および旋回流場の異なる2つの乱流特性が着火および火炎核の形成並びに火炎性状の燃焼特性に与える影響の把握、乱流場で着火を促進から抑制に遷移させる支配因子の解明、水素等の分子拡散特性やレイ数に着目した混合気組成かつ乱流特性に着目したKarlovitz数などに因る着火制御モデルの提案、である。

3 . 研究の方法

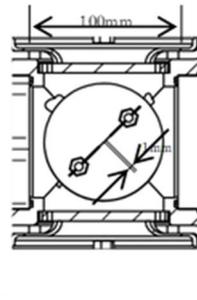
本研究では、包括的な着火制御法を提案するために、当量比0.5以下や模擬EGRガス添加を含む広範囲の水素-炭化水素-希釈ガス-酸素の多様な混合気を対象にした。さらに、高強度乱流場にも適応可能にするために、等方性の高強度乱れ場と旋回流の高速スワール流場を対象とし、着火や燃焼特性および微小火炎の燃焼特性を把握し評価した。なお、燃料や希釈ガスの分子拡散特性の影響を検討するため、LPGの主成分であり酸素よりも分子拡散速度が遅いプロパン(C₃H₈)および、LNGの主成分であり酸素よりも分子拡散速度が速いメタン(CH₄)を使用し、それぞれに対して、燃焼特性のみならず分子拡散特性に優れた水素(H₂)を添加した二成分燃料混合気を対象とする。さらに、希釈ガスには、窒素(N₂)、N₂と同等の分子拡散速度を有するアルゴン(Ar)およびN₂より分子拡散速度が遅い二酸化炭素(CO₂)を用いた希釈ガス添加水素混合気、また、模擬EGRガスとしてN₂を添加した混合気も対象とした。

(1) 等方性乱れ場

等方性乱れ場に対しては、図1に示す中心付近に定常的に等方性乱れ場を得られる定容燃焼器を使用した。内径が約100mmの球形に近い定容燃焼器で、向かい合う側面4面に直径85mmの観測窓が取り付けられており、そのうち1つの窓は点火電極と一体になっている。燃焼器上下2面には直径90mmの多孔板を有し、その後方にファンが設置してある。ファンを上下同一の回転数で回転させることで、燃焼室内に等方性乱れ場を概ね発生させることができる。ここでは、ファンの回転数を1000rpm、5000rpmに加え8000rpmとし、乱れ強さ u' は0.35m/s、1.76m/sに加え2.81m/sまで高強度乱流場が得られるように改修した。点火電極(材質:SUS)は、着火特性に与える影響を極力小さくするために、電極直径 D を0.1mmとし、電極間隙 W は、基本は1.0mmとし、着火が困難なものは3.0mmとした。



(a) 定容燃焼器



(b) 電極

図1 等方性乱流用定容燃焼器の改修

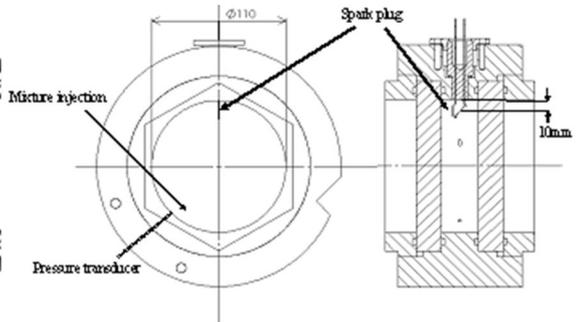


図2 スワール流用定容燃焼器の改修

燃焼実験は、常温常圧下で、分圧法により上述の混合気を燃焼器に充填し、所定の乱れ強さの下で、ほぼ燃焼室中央で火花点火する。本研究では、コンデンサ容量を調整することで点火エネルギーを 0.8 mJ から 992 mJ 程度まで変化させることができる。そして各混合気の最小点火エネルギー $E_{i_{min}}$ を各乱れ強さの条件下で決定した。なお、 $E_{i_{min}}$ は火花放電により火炎核が形成され火炎伝ばに至る確率が 50% となる点火エネルギーとした。

さらに、層流場および乱流場で微小火炎が伝ばする様子を、連続シュリーレン写真撮影法を使用し観測した。ここでは、高速ビデオカメラで撮影した。

(2) スワール流場

本研究で使用した燃焼器は、図 2 に示すエンジンの上死点付近の扁平型燃焼室を模した直径 110 mm、深さ 30 mm の扁平円筒状の定容燃焼器を用いた。両側面に直径 140 mm の石英製の観測窓を配置することで火炎を観察することができる。また、シリンダ内に作成・圧縮した予混合気を、電磁バルブを制御して燃焼器内へ接線方向に噴射することで高速のスワール流を発生できる。さらに、点火電極は、燃焼器壁面からの距離 10 mm に設置し、着火特性に与える影響を小さくするために、直径を 0.2 mm、間隙を 1.0 mm とした。燃焼器には圧力センサを取り付け、燃焼器内の圧力履歴を得ることができる。火炎の可視化法には連続シュリーレン写真撮影法を使用した。

燃焼実験では、混合気を作成・供給するシリンダ内圧力を高圧にできるように改修し、点火タイミングを調整することによって、点火位置における点火時の周方向流速 $u_{t,g}$ を 0, 12, 17, 30 に加えて 60 m/s まで高速スワール流が得られるようにし、コンデンサ容量を調整することにより、主に点火エネルギー $E_i=29$ mJ で実験を行った。

4. 研究成果

(1) 等方性乱れ場での成果

まず、層流場で、本研究では上述の混合気を対象に火炎半径 $r_f < 5$ mm の微小火炎の燃焼速度 S_{LI} /特性を把握し評価した。成果の一例として、層流燃焼速度 S_{L0} を 25 cm/s に揃えたメタン-水素-酸素-窒素混合気とメタン-水素-空気混合気より、当量比 $\phi=1.2$ の水素添加量 $\delta_H=0.0$ および 0.5 における、 S_{LI} と r_f の関係を図 3 に示す。なお、図 3 中 $S_{L\infty}$ は火炎伸長を有しない時の S_{LI} の値を表す。図 3 から、 S_{L0} を揃えた過濃メタン-水素-酸素-窒素混合気では δ_H が増加するほど、同一 r_f での $S_{LI}/S_{L\infty}$ が減少し、水素添加が微小火炎の燃焼速度に悪影響を与えることがわかった。一方で、メタン-水素-空気混合気では、 ϕ によらず δ_H の増加にしたがい $S_{LI}/S_{L\infty}$ が増大し、燃焼特性が改善することがわかった。これから、微小火炎の燃焼速度特性には、 ϕ や δ_H だけでなく、 S_{L0} も影響を与えることがわかった。なお、プロパン-水素-混合気でも概ね同様な傾向を示した。

次に微小火炎の $r_f=4$ mm における S_{LI}/S_L の値を抽出し、レイ数 Le との関係を図 4 に示す。図 4 から、燃料や希釈ガスの種類、 S_{L0} 、 ϕ および δ_H によらず、 Le の減少にともない S_{LI}/S_L が増加する傾向を示すことがわかった。これより、 S_{LI}/S_L と Le は良い相関関係にあり、 Le を用いることで、 S_{L0} が異なる混合気を含め様々な混合気に対して、微小火炎の燃焼特性を包括的に整理できることを明らかにできた。

続いて、乱流場での着火特性を把握し評価した。成果の一例として、図 5 に本研究で用いた混合気の $E_{i_{minT}}/E_{i_{minL}}$ と Le の関係を示す。ここで、 $E_{i_{minT}}$ および $E_{i_{minL}}$ はそれぞれ乱流場および層流場での $E_{i_{min}}$ を表す。図 5 より、 Le の減少にともない $E_{i_{minT}}/E_{i_{minL}}$ は概ね減少し、着火特性が改善する傾向を示す。しかし、 Le が 0.8 程度より大きい範囲では、 Le が大きくなるほど、同一 Le 、 u' での $E_{i_{minT}}/E_{i_{minL}}$ の差が増大している。これより、図 4 の層流場で微小火炎の燃焼速度特性のように、 Le のみでは乱流場での着火特性を整理できないことを明らかにできた。

次に、本研究で用いた混合気を含む、多くの混合気条件に対して、乱流場での着火特性を包括的に整理できる因子を検討した。ここでは、燃料にプロパン、メタンおよび水素を、希釈ガスに

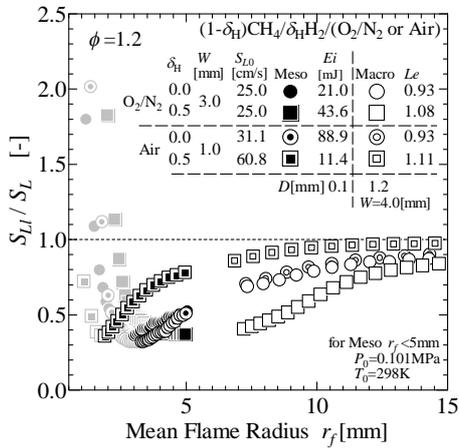


図3 層流場での火炎半径 r_f と燃焼速度 S_{Lf}/S_L との関係[メタン-水素混合気]

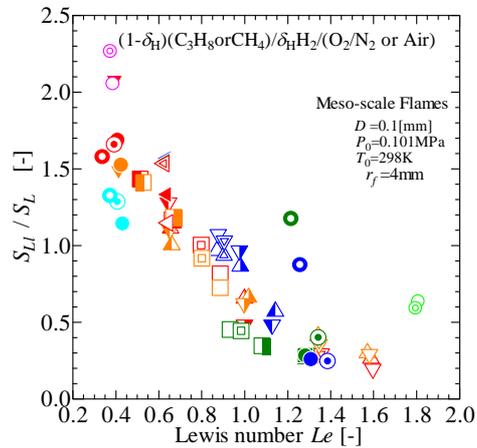


図4 層流場での火炎半径 $r_f=4\text{mm}$ での燃焼速度 S_{Lf}/S_L とルイス数 Le との関係

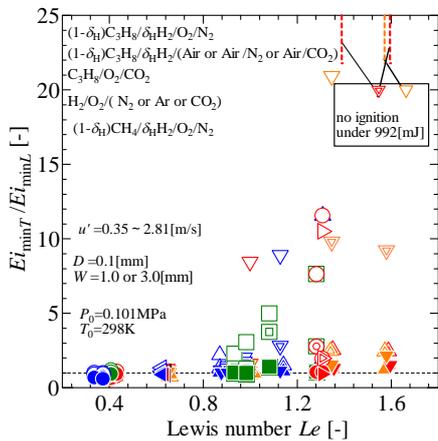


図5 最小点火エネルギー $E_{i,min}/E_{i,minL}$ とルイス数 Le との関係

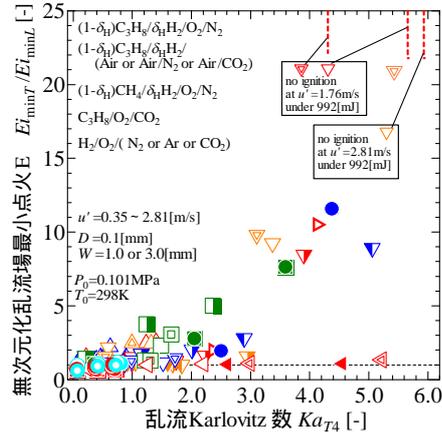


図6 最小点火エネルギー $E_{i,min}/E_{i,minL}$ と提案する乱流カーロピッツ数 Ka_{T4} との関係

は窒素、アルゴンおよび二酸化炭素を用い、当量比($\phi=0.5\sim 1.4$)、水素添加割合($\delta_H=0.0\sim 1.0$)および層流燃焼速度($S_{L0}\approx 8\sim 50\text{cm/s}$)を幅広く変化させた混合気を対象とした。図6に、 $E_{i,min}/E_{i,minL}$ と、本研究で提案する火炎伸張度を表すカルロピッツ数 Ka_{T4} の関係を示す。ここで、次式で示すように Ka_{T4} は微小球状層流火炎の火炎半径 $r_f=4\text{mm}$ 時における燃焼速度を基準とした無次元数である。

$$Ka_{T4} = \frac{u'}{\lambda_g} \frac{\eta_L}{S_{Ll@r=4\text{mm}}} \quad (1)$$

ここで、 u' :乱れ強度、 λ_g :テイラーの微細スケール、 η_L : S_{Ll} に基づく予熱帯厚さ、である。

図6から、 Ka_{T4} が増加するにしたがい、 $E_{i,min}/E_{i,minL}$ は緩やかに増加する傾向を示すが、 Ka_{T4} が3.0を越えると著しく増大することがわかった。しかし、一部の混合気では、 Ka_{T4} が3.0を超えた範囲でも、 $E_{i,min}/E_{i,minL}$ が概ね一定であり、 Ka_{T4} のみでは乱流場での着火特性を整理できないことがわかった。しかしながら、さらなる検討は必要であるが、着火特性が急激に悪化する遷移領域の存在を含め、 Ka_{T4} を用いること乱流場での着火特性を概ね包括的に整理できると推察できる。(2)スワール流場での成果

着火特性を検討するために、 $E_i=29\text{mJ}$ 固定の下で60m/sの超高速スワール流までの点火・燃焼特性を把握し評価した。

成果の一例として、まず、 $\phi=0.5$ で層流燃焼速度 S_{L0} を25cm/sに揃えた水素添加メタンおよびプロパン混合気について、図7に点火確率と δ_H の関係を示す。図7より、メタンとプロパンの混合気の差異によらず、 δ_H の増大にともない点火確率が上昇する傾向を示すことを明らかにした。また、プロパン混合気の方が水素添加による点火確率の改善が顕著であることがわかった。

燃焼特性について検討するために、最大燃焼圧力 P_M を理論断熱圧力 P_{TH} で無次元化した P_M/P_{TH} およびスワール流燃焼時の P_M に至る時間 t_{PM} を層流燃焼時の t_{PM} で無次元化した $(t_{PM})_{u,ig}/(t_{PM})_{u,ig=0}$ の整理を行った。

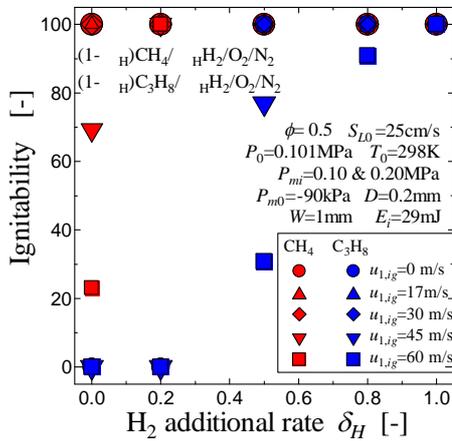


図7 スワール中での点火確率と水素添加量 δ_H との関係

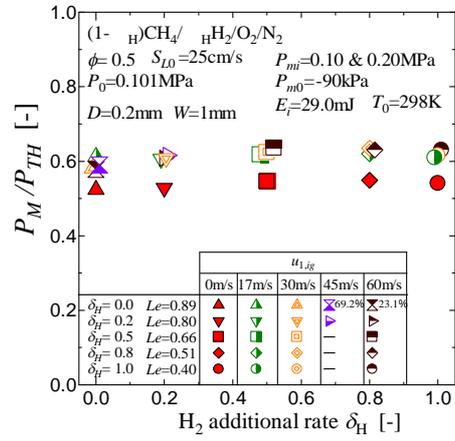


図8 最大圧力 P_M/P_{TH} と水素添加量 δ_H との関係[メタン-水素混合気]

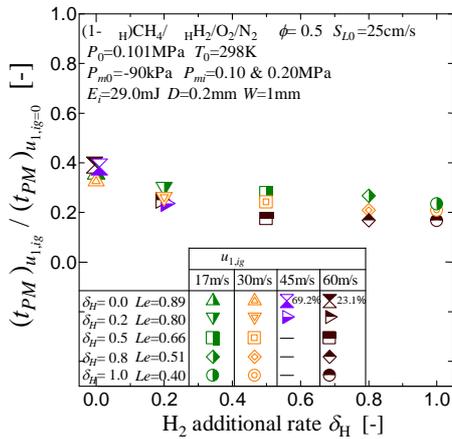


図9 最大圧力に至る時間 $(t_{PM})_{u_{1,ig}} / (t_{PM})_{u_{1,ig}=0}$ と水素添加量 δ_H との関係[メタン-水素混合気]

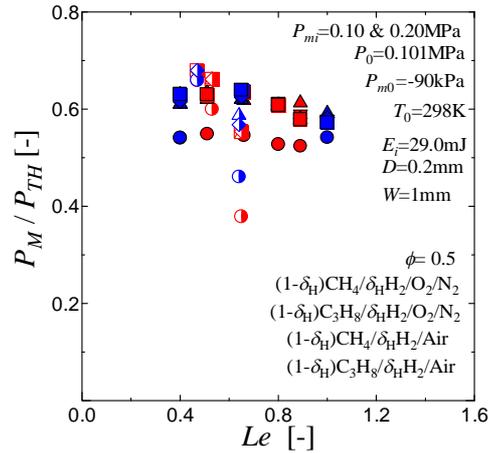


図10 最大圧力 P_M/P_{TH} とルイス数 Le との関係

一例として S_{LO} を 25cm/s に揃えたメタン混合気について、図 8 に P_M/P_{TH} と δ_H の関係を示す。図 8 より、 P_M/P_{TH} の値は δ_H の増加にともない概ね上昇する傾向を示すことがわかった。また、図 9 に、同じメタン混合気の $(t_{PM})_{u_{1,ig}} / (t_{PM})_{u_{1,ig}=0}$ と δ_H の関係を示す。図 9 より、 $(t_{PM})_{u_{1,ig}} / (t_{PM})_{u_{1,ig}=0}$ の値は δ_H の増加にともない概ね短縮する傾向を示した。なお、プロパン混合気においても P_M/P_{TH} と $(t_{PM})_{u_{1,ig}} / (t_{PM})_{u_{1,ig}=0}$ は同様の傾向を示した。以上より高速スワール中でも、メタンおよびプロパン混合気では、 δ_H の増加によって燃焼特性が改善することがわかった。

最後に、分子拡散を考慮できる無次元数であるルイス数 Le の影響について検討した。

図 10 に、 S_{LO} を 25cm/s に揃えた混合気、およびメタン 空気とプロパン 空気混合気での P_M/P_{TH} と Le の関係を示す。図 10 より、混合気の差異によらず、 Le の減少にともない P_M/P_{TH} の値は増大する傾向を示した。これは、 Le の定義から、 Le が減少すると、物質の拡散が熱的拡散より支配的となり、 ϕ が 0.5 の希薄混合気においては、不足成分である拡散特性に優れた水素が火炎面の未燃混合気側に凸な部分に多く拡散し、燃焼特性を改善したと考えられる。また、ルイス数を用いることで燃焼特性を混合気組成によらず整理できる可能性があることを明らかにできた。

以上のように、本研究では、限りある炭化水素燃料や CO_2 フリー燃焼である水素の高度有効利用および安全利用するために、燃焼特性のみならず混合気組成に起因する分子拡散特性に着目したルイス数および乱流特性の最適化により、超希薄や高強度の等方性やスワールの乱流場まで適応できる包括的な着火制御法を構築できる可能性があることを明らかにできた。特に、さらなる検討は必要であるが、提案する式(1)の Ka_{T4} を用いることにより、概ね着火特性が急激に悪化する遷移領域を予測できることは有用な成果である。

参考文献

- [1] 例えば、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「エネルギーキャリア」「革新的燃焼技術」、<http://www.jst.go.jp/sip/> 2019.10.7.
- [2] 例えば、Richards, G. A., et al., Progress in Energy and Combustion Science, 27 pp.141-169, 2001.
- [3] Shy, S.S., et al., Combustion and Flame, Vol.157, pp.341-350, 2010.
- [4] 例えば、丸田, 中村, 自動車技術学会誌, Vol.72, No.4, pp.10-17, 2018.

5. 主な発表論文等

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

1. 著者名 Masaya NAKAHARA;Kodai TANIMOTO;Hisanobu KUDO;Yuta MARUYAMA;Fumiaki ABE	4. 巻 17
2. 論文標題 Effects of hydrogen addition and turbulence on ignition and meso-scale flames of propane mixtures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Thermal Science and Technology (JSME)	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jtst.22-00248	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Masaya Nakahara;Kodai Tanimoto;Hisanobu Kudo;Fumiaki Abe;Kenichi Tokunaga
2. 発表標題 A Study on Influences of Hydrogen addition and Turbulence on Ignition Characteristics of Propane Mixtures
3. 学会等名 28th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水 秀;中原 真也;岸浦 謙介;阿部 文明
2. 発表標題 乱流場での水素混合気の着火特性に及ぼす希釈ガスの影響に関する実験的研究
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤尾 亮介;中原 真也;高良 政宗;阿部 文明
2. 発表標題 スワール流中での超希薄水素-炭化水素-空気混合気の燃焼特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第60回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masamune Takara;Masaya Nakahara;Kensuke Kishiura;Fumiaki Abe;Kenichi Tokunaga
2. 発表標題 Experimental Study of Influences of Hydrogen and Dilution gas on Turbulent Burning Velocity of Ultra-Lean Propane Mixtures
3. 学会等名 The 11th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology (JCREN 2022) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中原 真也
2. 発表標題 乱流場での水素添加メタン混合気の着火特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第58回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaya Nakahara
2. 発表標題 TOWARD THE DEVELOPMENT OF HYDROGEN COMBUSTION CONTROL METHOD
3. 学会等名 the Second Asian Conference on Thermal Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 八木 香太郎・中原 真也・周 靖陽・清水 秀・阿部 文明
2. 発表標題 等方性乱流場での水素添加メタン混合気の着火特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 沖田 陸也・中原 真也・浦手 一恵・藤尾 亮介・阿部 文明
2. 発表標題 スワール流中での超希薄水素添加炭化水素混合気の燃焼特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原 真也、木原 孝昌、谷本 航大、阿部 文明、石原 敦
2. 発表標題 乱流場での水素添加プロパン混合気の着火特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第57回日本伝熱シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中原 真也
2. 発表標題 水素添加による燃焼制御について
3. 学会等名 日本燃焼学会「中四国地区燃焼応用研究分科会講演会」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Rikuya Okita, Masaya Nakahara, Masahiro Watanabe
2. 発表標題 Experimental Study on Influence of Hydrogen Addition on Ignition and Combustion Characteristics of Lean C3H8/CH4 Mixtures in High Swirl Flows
3. 学会等名 3rd International Symposium on Advanced Measurement, Analysis and Control for Energy and Environment (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中原 真也、谷本 航大、八木 香太郎、阿部 文明
2. 発表標題 水素添加プロパン混合気の等方性乱流場での着火特性に関する実験的研究
3. 学会等名 日本機械学会 熱工学コンファレンス2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohtaroh Yagi, Masaya Nakahara, Kodai Tanimoto, Fumiaki Abe, Kenichi Tokunaga
2. 発表標題 An Experimental Study on Influence of Hydrogen addition on Ignition Characteristics of Propane Mixtures in Turbulence
3. 学会等名 The 9th Joint Conference on Renewable Energy and Nanotechnology
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊 真宏, 中原 真也, 浦手 一恵, 沖田 陸也, 阿部 文明, 石原 敦
2. 発表標題 スワール流中での水素添加メタン混合気の燃焼特性に関する実験的研究
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 谷本 航, 中原 真, 八木 香太郎, 阿部 文明, 石原 敦
2. 発表標題 水素添加メタン混合気の乱流場での着火特性に関する実験的研究
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

愛媛大学 研究者要覧
<https://yoran.office.ehime-u.ac.jp/Profiles/6/0000551/profile.html>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------