

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 29 日現在

機関番号：32621

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03990

研究課題名(和文) 100ミリ秒の高温持続時間を有する高圧衝撃波管の開発・評価と冷炎観測への応用

研究課題名(英文) Development and Evaluation of High-Pressure Shock Tube with Heating Duration of 100 ms and Its Application to Cold Flame Observation

研究代表者

高橋 和夫 (TAKAHASHI, Kazuo)

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：10241019

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：化学衝撃波管は衝撃波圧縮を利用した反応容器であり、試料気体を瞬時かつ均一に昇圧・昇温が可能であることから、これまで1000K以上の高温化学反応研究や着火研究に広く用いられてきた。しかし、この装置の欠点は衝撃波加熱された試料気体が高温のまま維持される時間(高温持続時間)が、通常1～1.5ミリ秒と極めて短いことにある。本研究では、現在工学分野で用途の高まっている高圧衝撃波管の高温持続時間を延ばすための装置開発を行った。その結果、高温持続時間を32ミリ秒まで延ばすことができ、自動車エンジンのノック現象解明の化学的研究に応用するとともに、650～1000 Kの中間温度域の化学反応追跡法を確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常の衝撃波管の高温持続時間は1～1.5ミリ秒ほどであるため、例えばエンジン自着火の研究においては1000 K以上の高温現象のみが観測できるにすぎなかった。エンジンの高効率化において一番の障害となっているノッキング現象は、温度650～1000 Kで起こるいわゆる『低温酸化反応』の解明が問題解決の鍵を握る。本研究の成果として、高圧衝撃波管の高温持続時間を従来の1～1.5ミリ秒から32ミリ秒に延長できたので、低温着火研究を実施することにより、エンジンシミュレーションのための詳細反応モデルの検証が可能となり、高効率エンジン開発さらには地球温暖化対策に大きく貢献することができた。

研究成果の概要(英文)：Chemical shock tubes are reaction vessels that utilize shock wave compression, and because they can instantly and uniformly increase the pressure and temperature of sample gas, they have been widely used in research on high-temperature chemical reactions and ignition above 1000 K. However, a drawback of this device is that the time during which the shock-wave-heated sample gas is maintained at a high temperature (high-temperature duration) is extremely short, usually 1 to 1.5 milliseconds. In this study, we developed a device to extend the high-temperature duration of high-pressure shock tubes, which are now increasingly used in the engineering field. As a result, we were able to extend the high-temperature duration to 32 milliseconds, and applied it to chemical research to elucidate the knock phenomenon in automobile engines, and established a method for tracking chemical reactions in the intermediate temperature range of 650 to 1000 K.

研究分野：化学熱力学，反応速度論，化学反応論，熱工学

キーワード：高圧衝撃波管 着火遅れ ノッキング 低温酸化 冷炎 反応モデル

## 1. 研究開始当初の背景

化学衝撃波管は衝撃波圧縮を利用した反応容器であり、試料気体をナノ秒オーダーの立ち上がりで空間的に均一に昇圧・昇温させることが可能である。また、昇圧・昇温後の温度と圧力は簡単な流体の保存式から精度よく計算することができる。このため、燃焼反応をはじめとする高温・高速気相反応の反応場として古くから(1960年代)用いられ、衝撃波管による気相反応研究は、レーザー光分解やレーザー誘起蛍光法(LIF)を含む各種分光法との融合によって時代とともに発展を遂げてきた。

このように高温化学反応の解明に大きく貢献してきた衝撃波管であるが、応用研究においても非常に重要な装置であり、特に着火研究に多くの工学的成果をもたらしている。着火研究では試料混合気を瞬時にかつ均一に目的の温度に昇温する必要があり、まさに衝撃波管が理想的な反応場といえる。温暖化をはじめとして地球規模での環境問題が叫ばれる昨今、炭酸ガスの排出が少ない低燃費・高効率自動車エンジンの開発が急務であるが、その際に問題となるノッキングを回避したり、予混合圧縮着火(HCCI)等の新方式エンジンを実用化する上で燃料の高圧着火特性の研究は不可欠である。このような工学的用途に応じて、数10気圧となるエンジン筒内圧力を模擬できるような高圧衝撃波管も10数年前より一般に用いられるようになった。

以上のように、科学・工学の両面において多くの実績を収めてきた衝撃波管であるが、その致命的な欠点は衝撃波加熱された試料気体が高温のまま維持される時間(以下、高温持続時間という)が長くないことである。通常、衝撃波管の高温持続時間は1~1.5ミリ秒ほどである。当然のことながら、高温持続時間内に完了する諸現象しか観測することができないため、例えばエンジン着火の研究においては1000K以上の高温現象のみが観測できるにすぎない。エンジンのノッキング現象においては、温度650~1000Kで起こるいわゆる『低温酸化反応』の解明が問題解決の鍵を握る。このため、自動車エンジンの着火現象の解明のための実験装置としては従来の衝撃波管の使用は限定的であり、数100ミリ秒という長い高温持続時間が得られる急速圧縮機を用いることが多い。しかしながら、急速圧縮機は固体ピストンを高速で動かして試料気体を圧縮加熱するので、圧縮・昇温完了まで少なくとも数10ミリ秒を要してしまい、その間に反応が進行してしまう。また、ピストン圧縮の際に試料気体に激しい流動が起こってしまい、温度が空間的に均一な反応場形成が難しい。以上の理由により、急速圧縮機による着火実験(着火遅れ)データは装置に依存するところが多く、着火遅れの絶対値を必要とする反応モデルの検証には必ずしも適していない。

このような背景のもと、高圧衝撃波管の高温持続時間を従来の1~1.5ミリ秒から数10~100ミリ秒に長期化することができて低温着火研究の実施が可能になれば、エンジンシミュレーションのための反応モデルの高精度化が実現し、高効率エンジン開発さらには地球温暖化対策に大きく貢献することが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は試料気体をナノ秒オーダーの立ち上がりで空間的に均一に昇圧・昇温可能な衝撃波管の高温持続時間を、高圧において数10~100ミリ秒に延ばすための装置・手法を開発することである。装置試作と性能評価を繰り返しながら、その都度発生する問題点を解決してゆき、ステップ・バイ・ステップで完成形を得る。そして本研究の集大成として、自動車エンジンのノック現象解明の鍵を握る低温酸化を理解するための実験データを得ることにより、応用研究への有効性を実証する。

高温持続時間の長期化を目指した衝撃波管の開発は、化学衝撃波管研究の世界的権威である米国Stanford大学のHanson教授のグループが先駆的であり、2015年に102ミリ秒の高温持続時間を報告している[1]。しかし、これは1.6気圧という低圧衝撃波管での研究であり、エンジン燃焼のような数10気圧の高圧での高温持続時間長期化はこれまでに試みられていない。

高圧衝撃波管は、低圧のそれに比べて衝撃波の減衰と境界層の発達が顕著になるため、衝撃波の通過後の時間が長くなる(すなわち高温持続時間が長くなる)と、管軸方向に無視することのできない大きな圧力勾配が形成する。この圧力勾配が緩和される過程で、低圧部末端付近にある観測部の圧力は時間とともに一定の割合で上昇するので、衝撃波管本来の特徴である“温度・圧力の均一性”が保たれなくなる。すなわち、高圧衝撃波管で高温持続時間の長期化を実現するには、衝撃波管の“非理想性”に起因する諸問題を同時に克服しなければならず、低圧衝撃波管の持続時間長期化に比べて難易度は格段に増す。このような課題をもつ高圧衝撃波管の高温持続時間の長期化を目指した本研究は、世界で初めての取り組みとなる。実現すればこれまで衝撃波管実験では困難であった650~1000Kという比較的低温における高圧化学反応研究や高圧着火研究の発展に多大な貢献をもたらすと考えられる。

## 3. 研究の方法

### 3.1. 装置の改良

縦軸に時間，横軸に衝撃波管の長さを取り，衝撃波管内を伝播する波の様子を図1に示した。隔膜を破断すると右方向に衝撃波が生じ，試料室末端で反射して試料気体は高温・高圧になる。一方，左方向には膨張波が発生し，高圧室末端で反射した後，試料室末端にある観測部に到達することで試料気体は冷却される。すなわち，反射衝撃波の到達から膨張波の到達までが試料気体の高温持続時間となるので，高圧室が長いほど膨張波の到達を遅らせることができ，高温持続時間を延ばすことができる。当研究室で従来使用している高圧衝撃波管は，内径 9.1 cm，試料室の長さは 4.2 m であり，高圧室の長さを 1.8 m から 4.3 m に延長したところ，最大高温持続時間は 4 ms から 11 ms に増大した。しかしながら，研究室のスペースの問題により直管でこれ以上高圧室を延ばすことができないため，図2に示すように U 字に折り返すことにより高圧室の長さを 9.6 m と大幅に延長することに成功した。

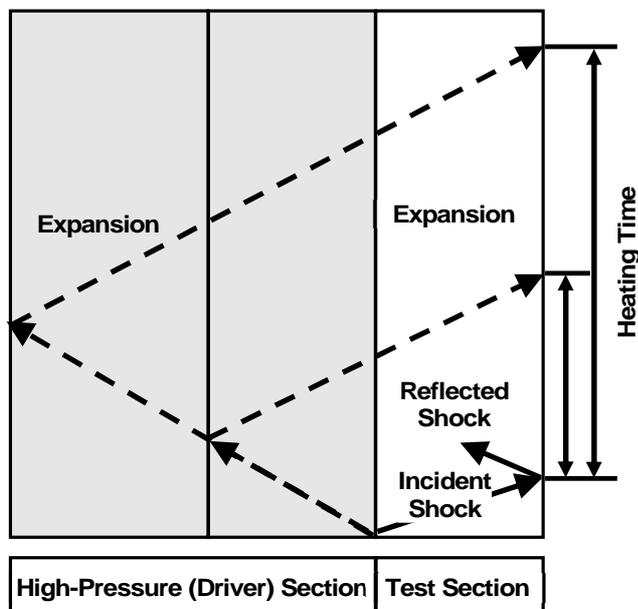


Fig. 1 Shock diagram before and after the extension of a high-pressure section.

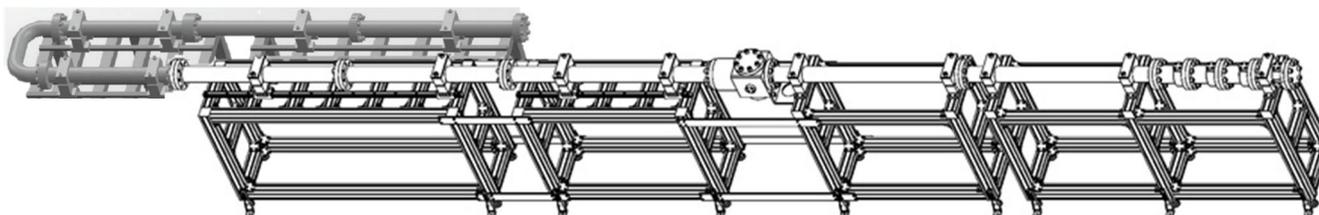


Fig. 2 Schematic diagram of the high-pressure shock tube with an extended driver section.

### 3.2. 着火遅れ時間の計測

改良した衝撃波管の性能を評価するために，着火遅れの測定を行った。実験は反射衝撃波背後で行い，試料室末端から 2 cm 離れた地点で着火を観測した。反射衝撃波の到達を示す圧力の急激な立ち上がりから，着火を意味する励起 OH 発光の立ち上がりまでを着火遅れ時間 ( $\tau$ ) と定義して測定した。

燃料にはハイオクおよびレギュラーガソリンを想定した SIP 共通 5 成分ガソリンサロゲート (S5H, S5R) [2] を用い，空気との予混合気を調製した。具体的な燃料組成を表1に示す。

これらの実験に加えて，SIP 研究プロジェクトで構築された 1761 化学種，5802 素反応からなるガソリンサロゲート用の自着火反応モデル SIP-Gd2.0 [2] を用い，着火遅れ時間のシミュレーション計算を Chemkin-Pro [3] により行い，低温における反応モデルの妥当性を再検証した。

Table 1 Composition of 5-component gasolines surrogates used in this study.

Surr.	Composition / liquid vol %					RON	MON
	<i>i</i> -C8	<i>n</i> -C7	MCH	DIB	TOL		
S5H	31.0	10.0	5.0	14.0	40.0	100.2	88.8
S5R	29.0	21.5	5.0	14.0	30.5	90.8	82.9

*i*-C8 : iso-octane, *n*-C7 : *n*-heptane, MCH : methylcyclohexane  
DIB : diisobutylene, TOL : toluene

## 4. 研究成果

### 4.1. 高温持続時間の検証 - 着火遅れ時間計測

ハイオクガソリンサロゲート (S5H) の 25 atm における着火遅れ時間 ( $\tau$ ) の測定結果を図3に示す。図中の縦軸は  $\tau$  の対数，横軸は絶対温度 ( $T$ ) の逆数を示している。高圧室の長さを 4.3 m から 9.6 m に延ばしたことにより，高温持続時間は 11 ms (図中黒破線) から 33 ms (図中赤

破線)にまで増大した。従来の高圧衝撃波管では、直線的に変化する高温領域の $\tau$ 以外は観測できなかったが( $\phi = 1.0$ :  $\square$ ,  $\phi = 0.5$ :  $\triangle$ ), 高圧室の増設により低温酸化反応の特徴である負の温度係数(NTC: Negative Temperature Coefficient)領域の $\tau$ の計測が可能となった( $\phi = 1.0$ :  $\circ$ ,  $\phi = 0.5$ :  $\bullet$ )。また、当量比依存性をみると、高温では $\phi = 1.0$ が $\phi = 0.5$ に比べてわずかに $\tau$ が短いにすぎないが、低温になるにしたがいその差は顕著になっている。

レギュラーガソリンサロゲート(S5R)の25 atmにおける着火遅れ時間( $\tau$ )の測定結果を図4に示す。S5RはS5H(図3)に比べてオクタン価が低く、着火遅れのアレニウスプロットが全体的に下にシフトするため、従来の高圧衝撃波管でもNTC領域の全部あるいは一部を観測することができる( $\phi = 1.0$ :  $\blacktriangle$ ,  $\phi = 0.5$ :  $\blacktriangle$ )。今回の高圧室増設により、より低温部分の着火特性が明らかとなり( $\phi = 1.0$ :  $\triangle$ ,  $\phi = 0.5$ :  $\triangle$ ), NTC領域を中心に低温酸化から高温酸化領域に至るまで包括的な計測が可能となり、RCMを併用することなく衝撃波管だけで典型的な逆S字形の高圧自着火曲線を得ることができた。

#### 4.2. 反応モデルの実験的検証

S5HおよびS5Rの着火遅れに関してSIP-Gd2.0反応モデル[2]を用いてシミュレーション計算し、実測との比較を行った。その結果を図3および図4の実線に示す。反応モデルは、高温領域では実測値を良好に再現しているものの、今回の装置改良により計測可能となった低温領域ではどちらの燃料、当量比においても実測よりも大きくなり、過大評価している。また、S5HよりもS5Rの方が実測値とのずれが大きい。

不一致を示している温度領域では、アルキルラジカルに酸素が付加した後、水素原子の分子内転位を起こす、いわゆる低温酸化が優勢であり、反応モデルではこのプロセスの総括反応速度が過小評価されている可能性がある。しかしその一方で、衝撃波管の高温持続時間の長期化に伴い、境界層に起因した各種非理想性の影響[4]も考えられるので、現在より詳細な実験的検証を行っている。

#### 4.3. オクタン価と着火遅れ時間の関係

同じ当量比において、オクタン価の異なるS5H(ハイオク)とS5R(レギュラー)の着火遅れについて検討した。図5にその結果の一例( $\phi = 0.5$ )を示す。図5から明らかなように、高温領域におけるS5H( $\square$ )とS5R( $\blacktriangle$ )の $\tau$ は完全に一致しており、違いは観測されない。一方、今回計測可能になった低温酸化の高温端において、S5H( $\circ$ )の $\tau$ はS5R( $\triangle$ )のその約2倍になった。すなわち燃料の耐ノック性は、衝撃波管実験において800 K以下の低温着火特性を調べることで評価できると考えられる。

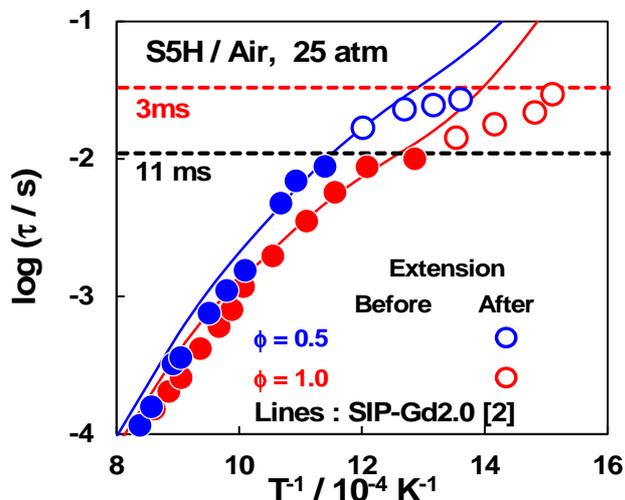


Fig. 3 Ignition delay times ( $\tau$ ) for S5H/air measured before and after the extension of driver section.

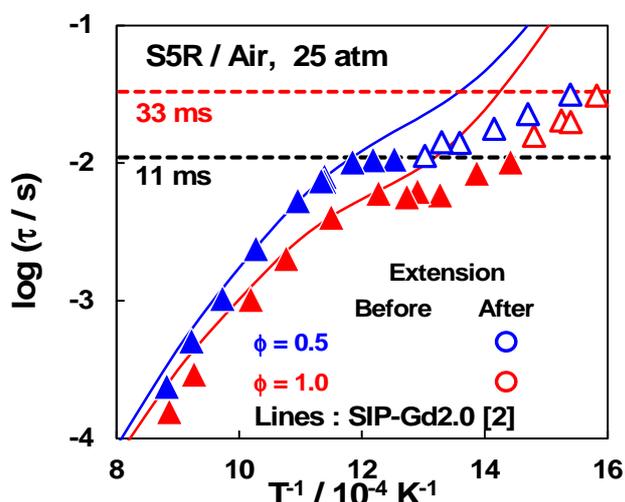


Fig. 4 Ignition delay times ( $\tau$ ) for S5R/air measured before and after the extension of driver section.

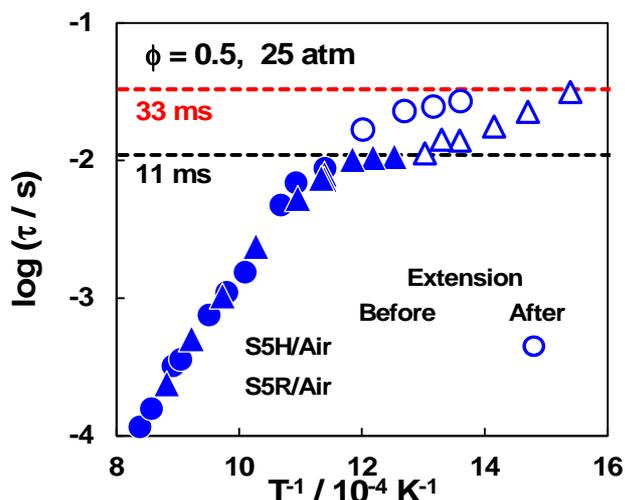


Fig. 5 Ignition delay times ( $\tau$ ) for fuels with different octane numbers measured at a wide range of temperatures.

#### 4.4. まとめ

高圧衝撃波管の高圧室を段階的に増設することにより、高温持続時間を従来の 4 ms から 11 ms、そして最終的には 33 ms まで増大させることに成功した。これにより、低温酸化の高温端の着火遅れ時間が計測可能となり、耐ノック性の評価に応用できることが示された。今後、アンチノック剤の開発において有効な評価法として期待される。

#### 参考文献

1. 高橋, *日本燃焼学会誌*, **62** (199), 10-23 (2020).
2. 三好, 酒井, *自動車技術会論文集*, **48** (5), 1021-1026(2017).
3. Chemkin-Pro 19.2, ANSYS, Inc.: San Diego, 2018.
4. Lam, K.-Y. *et al.*, *Proc. Combust. Inst.*, **33**, 251-258 (2011).

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Hiroki Tachino, Risako Murai, Kazuo Takahashi	4. 巻 1
2. 論文標題 Spectroscopic Observation of Cool Flames for Gasolines and Their Surrogates in a High-Pressure Shock Tube	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the 32nd International Symposium on Shock Waves	6. 最初と最後の頁 2105-2112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3850/978-981-11-2730-4_0209-cd	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 -
1. 著者名 高橋和夫	4. 巻 62
2. 論文標題 衝撃波管の着火研究への応用	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 10-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.62.199_10	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 -
1. 著者名 高橋和夫	4. 巻 64
2. 論文標題 衝撃波管の自動車用燃料研究への応用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本燃焼学会誌	6. 最初と最後の頁 340-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20619/jcombsj.64.210_340	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 -
1. 著者名 植田達実, 三浦美理, 平井涼平, 高橋和夫	4. 巻 54
2. 論文標題 高圧衝撃波管による次世代ガソリン開発のための新規燃料成分および新規サロゲートの性能評価	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 自動車技術会論文集	6. 最初と最後の頁 1250-1256
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11351/jsaeronbun.54.1250	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20件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 青木瑞葵, 三浦美理, 寺坂典, 高橋和夫
2. 発表標題 高圧衝撃波管を用いた次世代代替燃料候補の広温度域着火遅れ計測
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム, E314, オンライン, 2021年11月22-24日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺坂 典, 青木瑞葵, 鈴木由美子, 高橋和夫, 小畠健, 渡邊学
2. 発表標題 ノッキングを抑制する有機系燃料添加剤の開発と性能評価
3. 学会等名 2020年度衝撃波シンポジウム, 3A2-1, オンライン, 2021年03月03~05日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦美理, 寺坂典, 青木瑞葵, 植田達実, 高橋和夫
2. 発表標題 長加熱時間型高圧衝撃波管を用いたC5炭化水素の自着火特性評価
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム, E331, オンライン, 2021年11月22-24日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺坂典, 青木瑞葵, 三浦美理, 高橋和夫
2. 発表標題 高圧衝撃波管によるガソリン成分炭化水素の化学構造と自着火特性との関係解明
3. 学会等名 第59回燃焼シンポジウム, E332, オンライン, 2021年11月22-24日
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 植田達実, 福島滉樹, 三浦美理, 寺坂典, 青木瑞葵, 高橋和夫
2. 発表標題 衝撃波圧縮自着火に及ぼすガソリン成分炭化水素の非線形混合効果
3. 学会等名 2021年度衝撃波シンポジウム, 1A3-3, オンライン, 2022年03月09-11日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小野智也, 北島克紀, 大森佑哉, 境田悟志, 田中光太郎, 金野満, 寺坂典, 青木瑞葵, 高橋和夫
2. 発表標題 ジイソプチレンを燃料とした高圧縮比火花点火機関の希薄限界評価
3. 学会等名 日本機械学会2022年度茨城講演会, 310, オンライン, 2022年08月19日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三浦美理, 青木瑞葵, 山根祥太, 植田達実, 高橋和夫
2. 発表標題 アンモニアを燃料とするエンジン燃焼排ガスの触媒による浄化
3. 学会等名 第33回内燃機関シンポジウム, 27, 東京都墨田区, 2022年11月21-24日
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 植田達実, 三浦美理, 平井涼平, 高橋和夫
2. 発表標題 高圧衝撃波管による次世代ガソリン開発のための新規燃料成分および新規サロゲートの性能評価
3. 学会等名 自動車技術会2023年春季大会学術講演会, 209, 横浜市西区, 2023年05月24-26日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 平井涼平, 植田達実, 浜崎智大, 杉浦里玖, 高橋和夫
2. 発表標題 化学反応に基づいたオクタンハイパーブースト現象の解明
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム, B131, 秋田県秋田市, 2023年11月15-17日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 植田達実, 平井涼平, 杉浦里玖, 浜崎智大, 高橋和夫
2. 発表標題 軽質オレフィンおよび含酸素炭化水素を配合した新規ガソリンサロゲートの着火特性
3. 学会等名 第61回燃焼シンポジウム, B132, 秋田県秋田市, 2023年11月15-17日
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野口峻, 相樂優人, 山根祥太, 藤原純, 高橋和夫
2. 発表標題 衝撃波管を用いた多成分混合燃料の着火特性評価とオクタン価との関係解明
3. 学会等名 2023年度衝撃波シンポジウム, 3C2-1, 北九州市小倉北区, 2024年03月05-07日
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 青木瑞葵, 寺坂典, 三浦美理, 高橋和夫
2. 発表標題 高圧衝撃波管の高温持続時間延長と低温着火研究への応用
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム, E313, オンライン, 2020年12月02-04日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 寺坂典, 青木瑞葵, 三浦美理, 高橋和夫
2. 発表標題 複合添加剤によるガソリン自着火制御
3. 学会等名 第58回燃焼シンポジウム, E314, オンライン, 2020年12月02-04日
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hiroyuki Tachino, Risako Murai, Kazuo Takahashi
2. 発表標題 Spectroscopic Observation of Cool Flames for Gasolines and Their Surrogates in a High-Pressure Shock Tube
3. 学会等名 32nd International Symposium on Shock Waves, Singapore, Singapore, July 14-19, 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 舘野弘樹, 寺坂典, 青木瑞葵, 高橋和夫
2. 発表標題 励起ホルムアルデヒド発光および中赤外レーザー吸収法による高圧衝撃波管内での冷炎観測と低温酸化反応モデルの検証
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, P116, 札幌市白石区, 2019年11月20-22日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青木瑞葵, 舘野弘樹, 寺坂典, 高橋和夫
2. 発表標題 高圧衝撃波管によるアンモニア - 空気混合気の着火遅れ計測と高圧着火反応モデルの検討
3. 学会等名 第57回燃焼シンポジウム, P215, 札幌市白石区, 2019年11月20-22日
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Risako Murai, Hiroki Tachino, Kazuo Takahashi
2. 発表標題 Measurements of Ignition Delay Times for Commercial Gasolines in High-Pressure Shock Tube and Evaluation of Detailed Reaction Model
3. 学会等名 37th International Symposium on Combustion, Work-in-Progress Poster 4P006, Dublin, Ireland, July 29-August 3, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Tachino, Risako Murai, Kazuo Takahashi
2. 発表標題 Cool Flame Observations for Commercial Gasolines and Their Surrogates in a High-Pressure Shock Tube
3. 学会等名 37th International Symposium on Combustion, Work-in-Progress Poster 4P019, Dublin, Ireland, July 29-August 3, 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 村井梨紗子, 先生蒼平, 舘野弘樹, 高橋和夫
2. 発表標題 ガソリンサロゲートの着火特性に及ぼす含酸素炭化水素の添加効果
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム, P222, 大阪府堺市, 2018年11月14-16日
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroki Tachino, Risako Murai, Kazuo Takahashi
2. 発表標題 Observation of Cool Flames for Commercial Gasolines in a High-Pressure Shock Tube to Evaluate Reaction Model for Low-Temperature Oxidation
3. 学会等名 第56回燃焼シンポジウム, E124 (英語発表), 大阪府堺市, 2018年11月14-16日
4. 発表年 2018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	村井 梨紗子  (MURAI Risako)		
研究協力者	館野 弘樹  (TACHINO Hiroki)		
研究協力者	青木 瑞葵  (AOKI Mizuki)		
研究協力者	寺坂 典  (TERASAKA Tsukasa)		
研究協力者	三浦 美理  (MIURA Misato)		
研究協力者	植田 達実  (UEDA Tatsumi)		

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