

令和 5 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：2019～2022

課題番号：19K04244

研究課題名（和文）ゼロエミッションに向けた冷間始動可能な予混合圧縮着火アンモニア燃焼エンジンの開発

研究課題名（英文）Development of cold start premixed compression ignition ammonia combustion engine for zero emission

研究代表者

一柳 満久（Ichiyangi, Mitsuhsa）

上智大学・理工学部・教授

研究者番号：00584252

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）：アンモニアを燃料とした乗用車用エンジンの実現を最終的な目標として、以下を実施した。アンモニアは、燃焼速度が遅く、発火点が高いという問題点を有する。そこで、補助燃料としてガソリンを使用し、燃焼速度を上げるために、副燃焼室付きのエンジンを採用した。また、ガス温度の上昇のために、高圧縮比エンジンと予熱器を併用した。3次元数値シミュレーション、定容燃焼器の実験および実機エンジンでの実験から、混合気中のアンモニアの割合（アンモニア比率）を増加させるためには、高圧縮比と吸気温度の上昇が効果的であることがわかった。ただし、吸気温度の上昇は、燃焼期間の長大と、燃焼効率と図示熱効率の低下をまねくこともわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アンモニアは、燃焼速度が遅いという特徴があるため、これまで発電用の燃料としての使用が主であった。本研究では、燃焼速度を上げる方法として、副燃焼室付きのエンジンを採用した。また、発火点が高く、ガス温度の上昇が必要であるという問題に対しては、高圧縮比のエンジンを採用することで、ある一定の成果が得られた。本研究では、アンモニアとガソリンの混焼実験に止まったが、吸気温度の上昇がアンモニア比率を上げられることがわかった。ただし、燃焼期間が長くなるため、燃焼効率および図示熱効率は低下する。以上より、アンモニア燃料を用いた乗用車用エンジン実現に向けた課題がわかってきた。

研究成果の概要（英文）：To develop automotive engines that use ammonia as fuel, we carried out the followings. Ammonia has the shortcomings of a slow burning velocity and a high ignition temperature. For increasing the burning velocity, the engine with a sub-chamber was adopted and the gasoline was used as an auxiliary fuel. In addition, a high compression ratio engine and a preheater were used in order to raise the gas temperature. Through the three-dimensional numerical simulations, the experiments using a constant volume combustion chamber with a sub-chamber, and the experiments using an actual engine with a sub-chamber, it was found that both the use of a high compression ratio engine and the increase in intake air temperature are effective in increasing the ratio of ammonia quantity in the air-fuel mixture. However, it was also found that the increase in intake air temperature increases the combustion period and decreases the combustion efficiency and the indicated thermal efficiency.

研究分野：熱工学

キーワード：熱機関 アンモニア燃焼

## 1. 研究開始当初の背景

- (1) 低炭素社会の実現に向けて、水素キャリアとしてのアンモニア ( $\text{NH}_3$ ) 利用は実用間近であるが、 $\text{NH}_3$  を燃料とした自動車用エンジンの実現には至っていない。主たる要因は、 $\text{NH}_3$  は従来の燃料（ガソリン、軽油など）と比較して、保炎範囲が狭く燃焼速度が遅いこと、および発火点が高いことが挙げられる。そのため、 $\text{NH}_3$  を燃料とした自動車用エンジンの実現のためには、①燃焼速度を上げるための燃焼方式の検討、②混合気の温度を上げる方法の検討が必要である。これらの検討を踏まえて、 $\text{NH}_3$  とガソリンの混合気を用いた燃焼実験にて燃焼特性を把握し、最終的に  $\text{NH}_3$  単一燃料によるエンジンの開発を目指す。

## 2. 研究の目的

- (1)  $\text{NH}_3$  を燃料としたエンジンの安定燃焼の実現を目指して、「1. 研究開始当初の背景」にて示した  $\text{NH}_3$  燃焼の難点（①遅い燃焼速度、②高い発火点）に対し、以下の方法を提案する。本提案の肝は、副燃焼室付きのディーゼルエンジンを採用したことであり、本エンジンに点火プラグおよび筒内圧力計を取り付けるための改良を施している。

- ① 副燃焼室付きディーゼルエンジンを採用することで、副燃焼室にて点火プラグにより  $\text{NH}_3$ （もしくは  $\text{NH}_3$  とガソリンの混合気）を燃焼させ、主燃焼室内へ燃焼ガスを噴流状態にて誘導することができるようになる。これにより、主燃焼室内のシリンダ壁近傍の未燃燃料を圧縮し、自着火が可能となると予想される。最終的に、主燃焼室内の多点自着火を誘発させることで、急速燃焼の実現が期待される。
- ② 予熱器（ディーゼルエンジンに取り付けられているグロープラグ、別途取り付ける吸気ヒーター）を適切に利用することで、吸気温度の上昇を図る。さらに、ディーゼルエンジン特有の高圧縮比も利用することで、筒内のガス温度の上昇が期待される。なお、高圧縮比のエンジンを使用することによるノッキングの発生に関しては、 $\text{NH}_3$  の耐ノッキング特性により、軽減されることが期待される。

以上のように、燃焼方式として、副燃焼室内の燃焼に基づく主燃焼室内の予混合圧縮自着火を採用し、ガス温度を上昇させるために高圧縮比と予熱器を利用することで、 $\text{NH}_3$  燃焼の難点を解決していく。ただし、 $\text{NH}_3$  の難燃性を鑑みると、適切な燃焼条件の導出が必須である。本研究では、定容燃焼器および 3 次元数値シミュレーションを用いて、燃焼条件および主及び副燃焼室設計を行い、定常運転試験での最適な燃焼条件を検討する。その知見を基に、実機エンジンにて、 $\text{NH}_3$  とガソリンの混合燃焼実験から始め、 $\text{NH}_3$  単一燃料による燃焼実験を行っていく。

## 3. 研究の方法

- (1)  $\text{NH}_3$  燃焼における燃焼室形状の検討のため、3 次元数値シミュレーションを行う。数値シミュレーションで用いた燃焼室は、ピストン位置が上死点の場合のみを模擬している。主燃焼室の形状が  $\text{NH}_3$  の燃焼に与える影響を考察するため、7 種のモデル（①購入した実機エンジンの燃焼室形状、②-⑦自着火を促進するためのガイドをピストントップに設置した燃焼室形状、ガイドの角度や本数の違いにより 6 種を用意）を使用して数値解析を行う。
- (2)  $\text{NH}_3$  燃焼における燃焼条件の検討のため、定容燃焼器を用いた実験を行う。定容燃焼器の実験では、実機エンジンと同じエンジンヘッド（グロープラグおよび点火プラグを設置）を使用している。 $\text{NH}_3$  燃焼の可燃当量比範囲などを把握するため、当量比が、燃焼室内圧力、燃焼期間、平均火炎速度、平均噴射速度などへ与える影響について検討する。なお、混合気の初期温度は、IH ヒーターにより調節する。
- (3)  $\text{NH}_3$  燃焼を実機エンジンへ適用し、運転条件などを検討するため、 $\text{NH}_3$ ・ガソリン混合気を用いて、エンジンベンチテストを行う（定容燃焼器と同様に、エンジンヘッドにグロープラグおよび点火プラグを設置）。 $\text{NH}_3$  比率（燃料中の  $\text{NH}_3$  の低位発熱量の割合）が、着火遅れ、燃焼期間、燃焼効率、熱効率などへ与える影響について検討する。なお、混合気の初期温度は、吸気ヒーターにより調節する。

## 4. 研究成果

- (1) 数値シミュレーションから得られた成果をまとめる。数値シミュレーションは、実機エンジンの燃焼室形状に改良を加えた 7 種のモデルを使用して行われた。解析条件は、初期圧力 3.8 MPa（絶対圧力）、混合気の初期温度（副燃焼室）1100 K、（主燃焼室）863 K、当量比 1.0 と設定した。図 1 に、7 種の結果の中で、自己着火で燃焼した燃料の質量割合が最も大きか

った結果を示す. この結果より, 副燃焼室から既燃ガスが噴出し, 主燃焼室内の未燃焼混合気を圧縮していることがわかる. さらに, 副燃焼室からの噴霧が主燃焼室に流入してから圧縮された未燃焼ガスが自己着火するまでの時間が 142 ms, 自己着火から燃焼終了までの時間が 8 ms であった. これより, 自己着火により, 急激に燃焼が進行することがわかった.

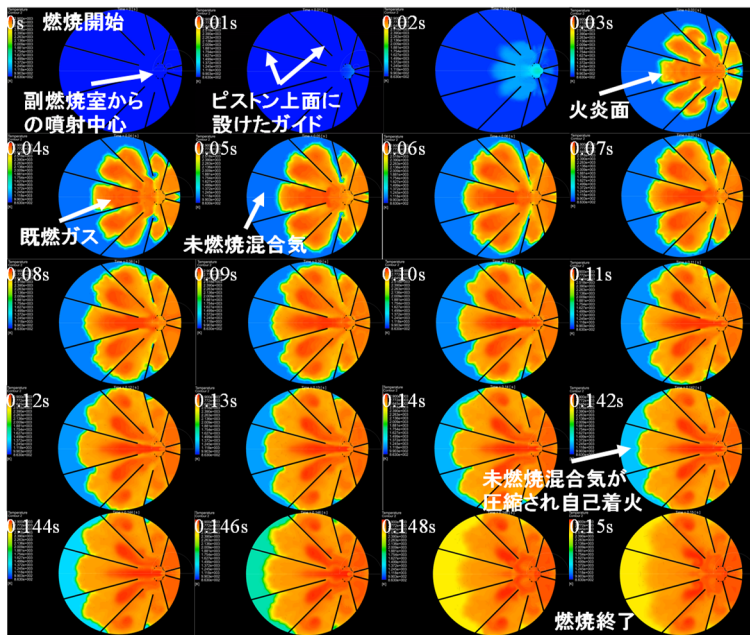


図1 ガイド付き主燃焼室内における数値シミュレーションの結果

- (2) 定容燃焼器を用いた実験から得られた成果をまとめる<sup>[1],[2]</sup>. 定容燃焼器の実験は, 実機エンジンと同じエンジンヘッドを使用して行われた. 実験装置図を図2に示し, 実験条件は, 初期圧力 0.2 MPa (絶対圧力), 混合気の初期温度 423 K, 当量比 ( $\phi$ ) 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.1, 1.4 とした. 図3に, 当量比ごとの燃焼室内圧力の時間変化を示す. いずれの当量比においても, 燃焼室内圧力は緩やかに上昇した後に, 急激に上昇する2段燃焼となっていることがわかる. 緩やかな圧力上昇は, 副燃焼室内での火炎伝播を示しており, 急激な圧力上昇は, 副燃焼室からの噴流が主燃焼室内の未燃混合気を圧縮し自己着火したものと推察する. 図4に, 当量比ごとの燃焼期間を示す. この結果より, 当量比 0.4 から 0.8 まで減少し, 0.8 から 1.4 にかけて増加することがわかる. 図5に, 当量比ごとの平均火炎伝播速度およびオリフィス部 (副燃焼室と主燃焼室を連結する部分) での平均噴射速度を示す. いずれの結果も, 当量比 0.4 から 0.8 まで増加し, 0.8 から 1.4 にかけて減少することがわかる. 図4および図5の結果には相関があると考えられ, オリフィス部からの平均噴出速度の上昇に伴い, 主燃焼室での平均火炎伝播速度が増加したことで, 燃焼期間が短くなったと考えられる.

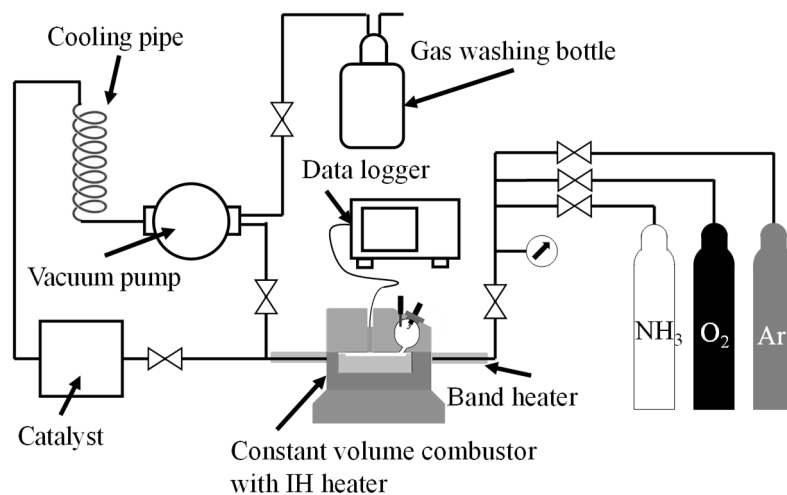


図2 定容燃焼器の実験装置図

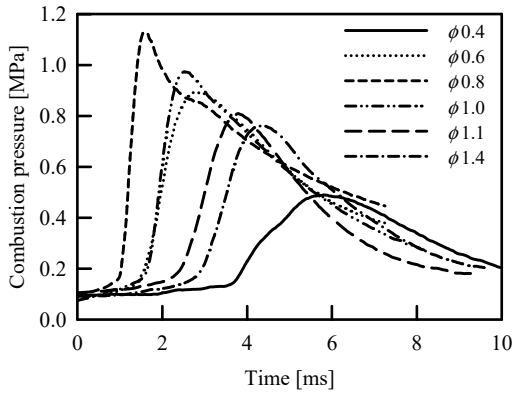


図3 当量比ごとの燃焼室内圧力の時間変化

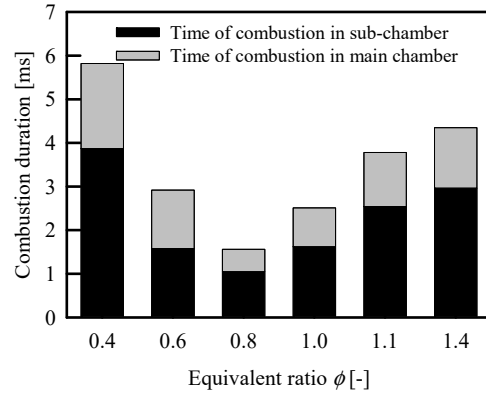


図4 当量比ごとの燃焼期間

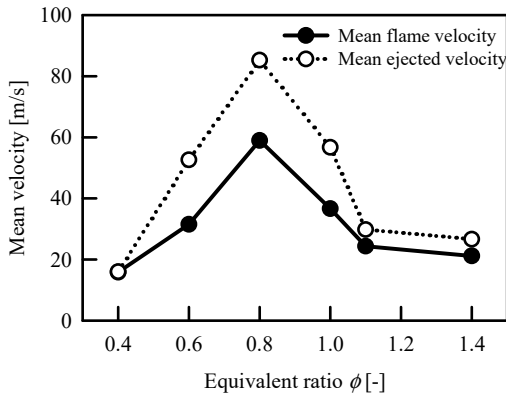


図5 当量比ごとの平均火炎伝播速度および平均噴射速度

- (3) 実機エンジンを用いた実験から得られた成果をまとめる<sup>[1]</sup>。実機エンジンの実験装置図を図6に示し、実験条件は、エンジン回転数 1000 rpm, 吸気管内圧力 0.1 MPa (絶対圧力), 混合気の初期温度 298 K, 空気過剰率 ( $\lambda$ ) 1.1, 1.2, 1.3, グロープラグ電圧 0, 10 V, 冷却水温度 45 °C, NH<sub>3</sub> 比率 0~33% とした。図7に、NH<sub>3</sub> 比率を変化させた際の筒内圧力を示す。NH<sub>3</sub> 比率が増加すると、筒内圧力のセカンドピークが徐々に低下し、セカンドピークが生じるクランク角度が徐々に遅角していくことがわかる。このピーク圧力の低下は、NH<sub>3</sub> 比率の増加に伴う燃料の総エネルギーの減少および燃焼速度の低下が影響しているものと考えられる。図8に、質量燃焼割合および NH<sub>3</sub> 比率の関係を示す。NH<sub>3</sub> 比率が増加すると、曲線の傾きが徐々に減少していることがわかる。これは、燃焼速度が低下 (燃焼期間が増加) していることを意味しており、図7の燃焼圧力の低下の要因である。さらに、NH<sub>3</sub> 比率が増加するにつれて、曲線の立ち上がり時間も遅くなっていることがわかる。これは、NH<sub>3</sub> 比率が増加すると、点火後の火炎核の成長も遅くなったためと考えられる。図9に、グロープラグ電圧を変化させた際の、IMEP および NH<sub>3</sub> 比率の関係を示す。NH<sub>3</sub> 比率の増加に伴い、IMEP は減少傾向を示す。ただし、NH<sub>3</sub> 比率が 27%, 33% の条件では、グロープラグを使用することで、わずかではあるが、IMEP が改善されていることがわかる。図10に、空気過剰率に対する IMEP および図示熱効率を示す。空気過剰率の減少により、供給される燃料が増加したことで、IMEP が増加したことがわかる。図示熱効率に関しては、 $\lambda=1.3$  から  $\lambda=1.2$  では増加していることがわかる。これは、空気過剰率の減少に伴い、燃焼期間の短縮および等容度の増加がもたらされたことが要因と考えられる。一方、 $\lambda=1.2$  から  $\lambda=1.1$  では、図示熱効率はわずかに低下したことがわかる。これは、 $\lambda=1.1$  では、燃焼期間の短縮および等容度の増加による図示熱効率の増加と比べて、比熱比の低下による図示仕事の減少および燃焼温度の上昇による冷却損失の増加が支配的となったことが要因と考えられる。加えて、エンジン回転数 1000 rpm, 吸気管内圧力 0.1 MPa (絶対圧力), 混合気の初期温度 298, 323, 348 K, 空気過剰率 1.2, グロープラグ電圧 10 V, 冷却水温度 70 °C, NH<sub>3</sub> 比率 31~66% でも実験を実施したが、未公表データを含むため、概要のみ記す。試行錯誤の結果、NH<sub>3</sub> 比率 66% まで安定燃焼することがわかった。一方、吸気温度を増加させると、NH<sub>3</sub> 比率を高められるものの、燃焼期間が長くなり、燃焼効率および図示熱効率は著しく低下することがわかった。

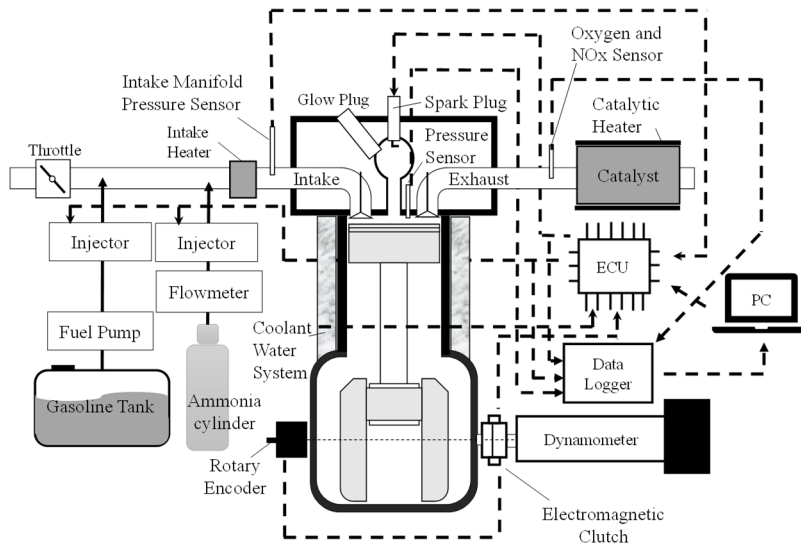


図 6 実機エンジンの実験装置図

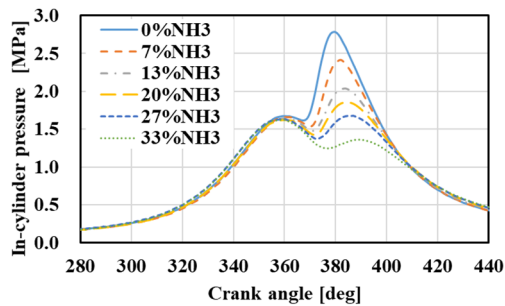


図 7 筒内圧力および NH<sub>3</sub> 比率の関係 ( $\lambda = 1.3$ , グロープラグ電圧 0 V)

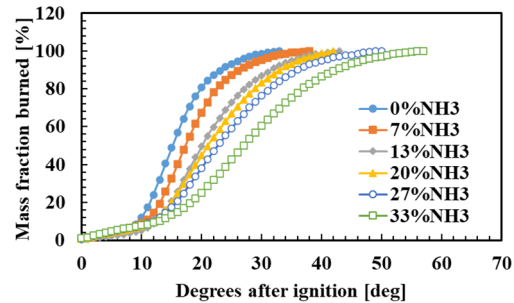


図 8 質量燃焼割合および NH<sub>3</sub> 比率の関係 ( $\lambda = 1.3$ , グロープラグ電圧 0 V)

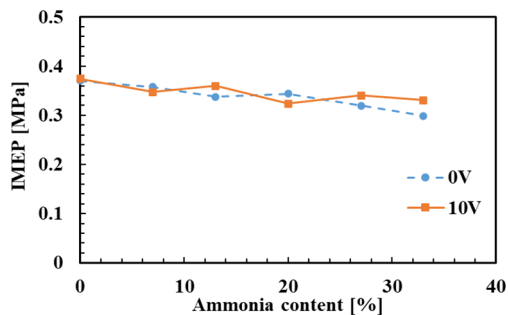


図 9 IMEP および NH<sub>3</sub> 比率の関係 ( $\lambda = 1.3$ , グロープラグ電圧 0, 10 V)

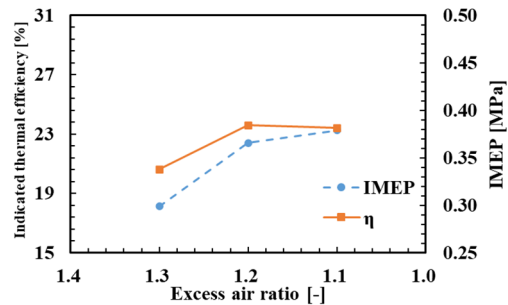


図 10 空気過剰率および IMEP・図示熱効率の関係 (NH<sub>3</sub> 比率 33%)

#### 参考文献

- [1] Guo B, Ichiyangi M, Horie M, Aihara K, Ohashi T, Zhang A, Suzuki T, "Combustion analysis of ammonia/oxygen mixtures at various equivalence ratio conditions using a constant volume combustor with sub-chamber", *Automotive Experiences*, Vol.4, No.3, (2021), pp.161-170.
- [2] Guo B, Ichiyangi M, Ohashi T, Zheng Q, Suzuki T, "Effect of equivalence ratio and mixing time on combustion of ammonia/oxygen/argon mixture using a constant volume combustion chamber with sub-chamber", *Journal of Mechanical Science and Technology*, (Accepted).
- [3] Guo B, Ichiyangi M, Kajiki K, Aratake N, Zheng Q, Kodaka M, Suzuki T, "Combustion analysis of ammonia fueled high compression ratio SI engine with glow plug and sub-chamber -Effects of ammonia content under condition of co-combustion with gasoline/ammonia/air-", *International Journal of Automotive Engineering*, Vol.13, No.1, (2022), pp.1-8.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Bin Guo, Mitsuhsa Ichianagi, Takuma Ohashi, Qinyue Zheng, Takashi Suzuki	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Equivalence Ratio and Mixing Time on Combustion of Ammonia/Oxygen/Argon Mixture Using a Constant Volume Combustion Chamber with Sub-chamber	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Mechanical Science and Technology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Bin Guo, Mitsuhsa Ichianagi, Makoto Horie, Keita Aihara, Takuma Ohashi, Abiyasu Zhang, Takashi Suzuki	4. 巻 4-3
2. 論文標題 Combustion Analysis of Ammonia/Oxygen Mixtures at Various Equivalence Ratio Conditions Using a Constant Volume Combustor with Sub-chamber	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Automotive Experiences	6. 最初と最後の頁 161-170
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31603/ae.6132	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 Williyanto Anggono, Soen Peter Stanley, Ferdinand Ronaldo, Gabriel J. Gotama, Bin Guo, Emir Yilmaz, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki	4. 巻 5-1
2. 論文標題 Engine Performances of Lean Iso-Octane Mixtures in a Glow Plug Heated Sub-Chamber SI Engine	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Automotive Experiences	6. 最初と最後の頁 16-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.31603/ae.5118	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 該当する
1. 著者名 Bin Guo, Mitsuhsa Ichianagi, Kento Kajiki, Narumi Aratake, Qinyue Zheng, Masashi Kodaka, Takashi Suzuki	4. 巻 13-1
2. 論文標題 Combustion Analysis of Ammonia Fueled High Compression Ratio SI Engine with Glow Plug and Sub-Chamber -Effects of Ammonia Content under Condition of Co-combustion with Gasoline/Ammonia/Air-	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Automotive Engineering	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20485/jsaeijae.13.1_1	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 Mitsuhisa Ichianagi, Yi Kang, Bin Guo, Reina Saito, Kento Kajiki, Emir Yilmaz, Takashi Suzuki	4. 巻 2020-32-2310
2. 論文標題 Improvement of Fuel Consumption for SI Engines by Combining with Glow Plug Heated Sub-Chamber and Lean Burn	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SAE Technical Papers	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4271/2020-32-2310	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12件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Bin Guo, Qinyue Zheng, Keita Aihara, Takuma Ohashi, Mitsuhisa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Influence of Gas Ejected from Sub-chamber on Combustion of Ammonia/Oxygen/Argon Mixture Using a Constant Volume Combustor
3. 学会等名 The 10th International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qinyue Zheng, Bin Guo, Kento Kajiki, Narumi Aratake, Masashi Kodaka, Mitsuhisa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Experimental Analysis of Co-combustion SI Engine with Gasoline/Ammonia/Air under Higher Intake Air Temperature Condition
3. 学会等名 The 10th International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Dyg Farah Aidha Binti Awg Idrus, Hikaru Yamamoto, Bin Guo, Qinyue Zheng, Narumi Aratake, Masashi Kodaka, Hikaru Shiraishi, Takanobu Okada, Mitsuhisa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Supercharging Effects and Combustion Performance Characteristics of an Ammonia-Gasoline Engine with Glow Plug and Sub-chamber
3. 学会等名 International Conference of Automotive Technology for Young Engineers 2022-2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大橋拓真, カクヒン, テイシンエツ, 山王聖仁, 一柳満久, 鈴木隆
2. 発表標題 副室付き定容燃焼器における当量比及び副室噴口径がアンモニア/酸素/アルゴン混合気の燃焼に与える影響
3. 学会等名 2022年度自動車技術会関東支部学術研究講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Bin Guo, Makoto Horie, Keita Aihara, Takuma Ohashi, Abiyasu Zhang, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Analysis of Combustion Characteristics of Ammonia/Oxygen Mixture Using a Constant Volume Combustor with Sub-chamber
3. 学会等名 The 2nd International Conference on Automotive, Manufacturing, and Mechanical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bin Guo, Kento Kajiki, Narumi Aratake, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Combustion Analysis of SI Engine with Glow Plug and Sub-chamber under Lean-burn Conditions
3. 学会等名 The 2nd Asian Conference on Thermal Sciences (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Bin Guo, Kento Kajiki, Narumi Aratake, Qinyue Zheng, Masashi Kodaka, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Combustion Analysis of Ammonia Fueled High Compression Ratio SI Engine with Glow Plug and Sub-chamber -Preliminary Experiments of Co-combustion with Gasoline/Ammonia/Air-
3. 学会等名 2021 JSAE Annual Congress (Autumn) (国際学会)
4. 発表年 2021年



1. 発表者名 Bin Guo, Keita Aihara, Takuma Ohashi, Qinyue Zheng, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Effect of Equivalence Ratio and Mixing Time on Combustion of Ammonia/Oxygen/Argon Mixture Using a Constant Volume Combustor with Sub-chamber
3. 学会等名 International Conference of Automotive Technology for Young Engineers 2021-2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qinyue Zheng, Kento Kajiki, Narumi Aratake, Bin Guo, Masashi Kodaka, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Inference of Intake Air Temperature on MBT for Co-combustion Engine with Gasoline/Ammonia/Air
3. 学会等名 International Conference of Automotive Technology for Young Engineers 2021-2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Bin Guo, Kento Kajiki, Yi Kang, Reina Saito, Narumi Aratake, Emir Yilmaz, Mitsuhsa Ichianagi, Takashi Suzuki
2. 発表標題 Combustion Analysis of SI Engine with Glow Plug and Sub-chamber under Lean-burn Conditions
3. 学会等名 International Conference of Automotive Technology for Young Engineers 2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 カクヒン, 伊東健司, 堀江諒, 相原恵太, イルマズエミール, 一柳満久, 鈴木隆
2. 発表標題 CFD解析による定容燃焼器内アンモニア混合気の燃焼解析
3. 学会等名 2019年度自動車技術会関東支部学術研究講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 副室と補助熱源を併用したガソリン希薄燃焼の検討
2. 発表標題 梶木健斗, 村田悠司, 斉藤伶奈, 康イ, 神田真由子, 都筑知将, イルマズエミール, 一柳満久, 鈴木隆
3. 学会等名 2019年度自動車技術会関東支部学術研究講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>上智大学理工学部機能創造理工学科 一柳満久  <a href="https://researchmap.jp/ichiyanagi">https://researchmap.jp/ichiyanagi</a></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	鈴木 隆  (Suzuki Takashi)  (20206494)	上智大学・理工学部・教授    (32621)	

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