

令和元年6月17日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K18034

研究課題名（和文）超希薄・高圧燃焼における衝撃波と自着火の相互作用

研究課題名（英文）Interaction between Shock Wave and Autoignition in Ultra-lean and High Pressure Combustion

研究代表者

飯島 晃良 (IIJIMA, Akira)

日本大学・理工学部・准教授

研究者番号：50434121

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）：内燃機関の高熱効率化のために、高圧縮比での運転が必要である。これらの条件下では、衝撃波を伴う異常燃焼が発生しやすくなる。この現象は、自着火と圧力波の相互作用が重要因子となる。しかし、エンジン内で自着火と衝撃波がどのように作用して強烈な異常燃焼に発展するのかについては計測が困難であり、不明な点が多い。本研究では、強い異常燃焼を可視化できるエンジンを開発し、自着火の成長過程を実測した。その結果、局所で生じた自着火の成長速度が音速に達することで、自着火と圧力波の相互作用が起こった結果、自着火と圧力波が互いに成長し、超音速で進行することを明らかにした。つまり、強い異常燃焼のメカニズムを実測し解明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自動車などの動力源として用いられる内燃機関から排出される二酸化炭素の削減を妨げるのが、異常燃焼である。この現象は、自着火と衝撃波の相互作用で起こると考えられるが、その現象を明確に測定することは困難である。本研究では、これらを実測できる可視化エンジンを開発し、実測を行った。その結果、自着火と圧力波の相互作用により互いに成長し、超音速で進行することが分かった。この知見は、エンジン高性能化に寄与できる。

研究成果の概要（英文）：In order to increase the thermal efficiency of internal combustion engine, it is necessary to operate at a high compression ratio. Under these conditions, abnormal combustion accompanied shock wave is likely to occur. Therefore, the interaction between autoignition and pressure wave is considered to be an important factor. However, it is difficult to observe strong abnormal combustion in the engine, there are many questions about how autoignition and shock waves act to develop into intense abnormal combustion. This study developed an engine that can visualize strong abnormal combustion. Using this engine, we measured the growth process of autoignition. As a result, it was found that the autoignition generated locally, and when the growth rate reached the speed of sound, the autoignition and the pressure wave grow and proceed at supersonic speed. In short, the mechanism of strong abnormal combustion was clarified experimentally, by using an actual engine.

研究分野：内燃機関

キーワード：異常燃焼 自着火 衝撃波 内燃機関 超音速

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

次世代の自動車エンジン、航空機用エンジン、産業用ガスエンジンなどは、省エネルギーの観点から徹底的な高効率化が求められる。そのため、熱力学サイクル論的に理想的な高圧縮条件下での燃焼を成立させることが求められる。このような環境下でのエンジンの成立を阻む主たる要因は、異常燃焼の発生である。特に、高圧・高負荷条件下での運転を試みると、燃焼室内に強い圧力スパイクが発生し、それが衝撃波を伴う強烈な圧力振動に成長することが知られている。数 ms の間に、わずか数十 mm 程度の狭い領域でこの現象が進行する。異常燃焼は、自着火によって引き起こされていることから、自着火と衝撃波の相互作用がキーになると考えられる。しかしながら、高圧(数 MPa~10MPa 程度)な燃焼場において、これらの現象を再現しつつ、その特性を計測することは困難であることから、十分なデータが得られていない。本研究は、このような背景のもとで企図された。

2. 研究の目的

次世代の自動車用エンジン、航空機用エンジン、産業用ガスエンジンなどの燃焼室内の環境を模擬した、高圧場での自着火燃焼過程で生じる燃焼室内圧力波、衝撃波、急激燃焼のメカニズムを明らかにする。つまり、高圧(数 MPa~10 MPa 程度)・超希薄予混合気の燃焼過程で特異現象として生ずる、衝撃波と自着火がカップリングして強い燃焼振動を伴う急激燃焼を、高圧連続燃焼装置により実験的に再現し、そのメカニズムを高速度可視化等で調べる。

3. 研究の方法

具体的には、以下の方法を用いて研究を行った。

(1) 衝撃波を伴う自着火燃焼実験と、その高速可視化解析

強烈な圧力振動を伴う燃焼を再現しつつ、その可視化ができる燃焼器を構築し、実測環境を整える。

(2) 上記(1)の装置を用いて自着火の成長速度を解析することで、自着火の局所的な発生から強い圧力波に発展する機構の解明

4. 研究成果

(1) 高圧燃焼場における自着火と圧力波の成長現象の高速可視化と観察

図1に示すように、燃焼室内の全領域が観察可能な可視化エンジンを用いて、自着火の発生・成長と圧力波の形成を毎秒300,000コマの高速度撮影を行った。同時に燃焼室内圧力計測を行い、その周波数解析を実施し、自着火燃焼の発生形態と圧力振動スペクトルとの関係を調査した。

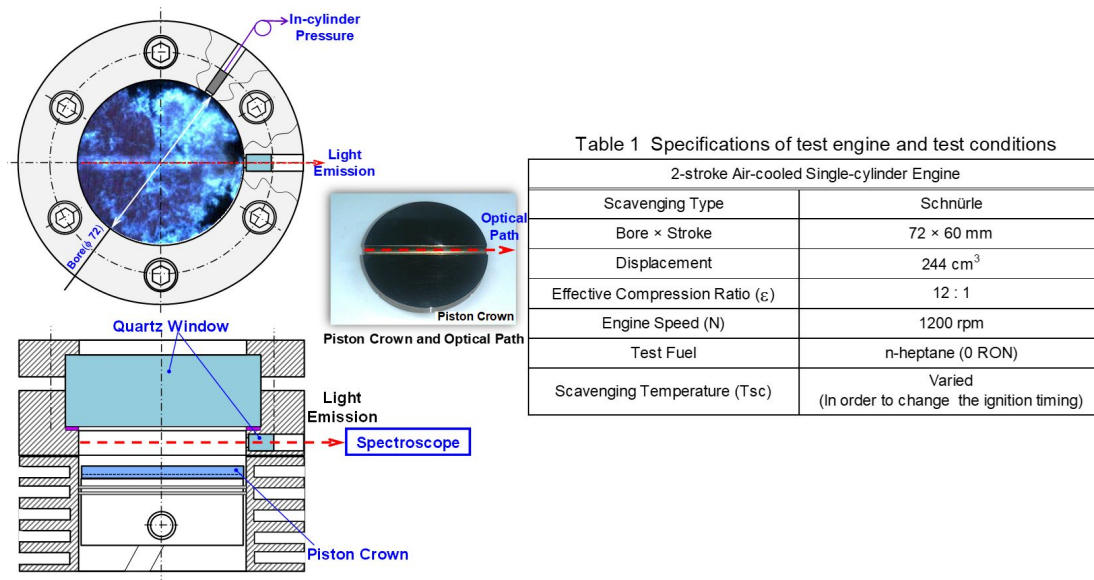


図1 燃焼室内全域が観察可能な可視化エンジンの概要と仕様(学会発表)

その結果、以下のことが明らかになった。

強い圧力振動が生じる条件では、最初に生じた自着火が成長する過程で、燃焼室内の局所で強い圧力波が形成され、未燃を含む周囲に伝播する。その結果、圧力波によって未燃部分がより短期間で急激に自着火を起こす。(図2)

圧力振動の周波数は、円筒形燃焼室内をボア方向に往来する(1,0)Mode が基本であるが、強いノッキングが生じる条件では、(2,0)Mode などの別の圧力波の振動も観測される。燃

焼室内の高速可視化観察の結果から、このような条件では燃焼室内で生じた圧力波がシリンダの周方向にも進行していることが分かった。つまり、強い圧力波が形成された時点での、圧力波の位置と未燃ガスの位置の関係でその後の圧力波の進行と成長過程が決まり、その結果圧力振動のモードが変化することを明らかにした。(図2)

強いノッキングが生じる条件では、局所的に高輝度の領域が形成されそれが未燃部を高速で進行しつつ、未燃部が次々に自着火していく。この時の自着火の見かけの伝播速度は音速以上と見積もられる。つまり、強い圧力波と圧力振動が生じる条件では、圧力波面と反応領域が相互作用しつつ高速で燃焼が行われる、デトネーション遷移過程にあると推察される。(図3)

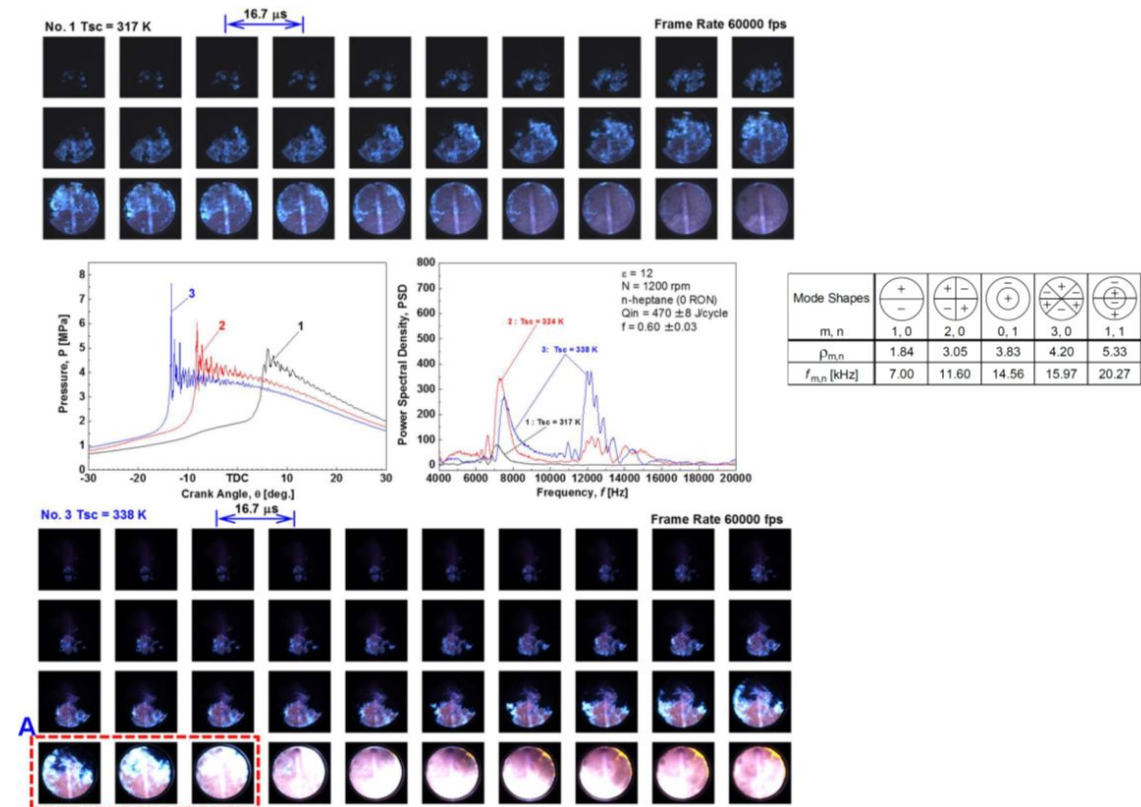


図2 強い圧力振動を伴う自着火燃焼の高速可視化観察と圧力振動の周波数成分(学会発表より)

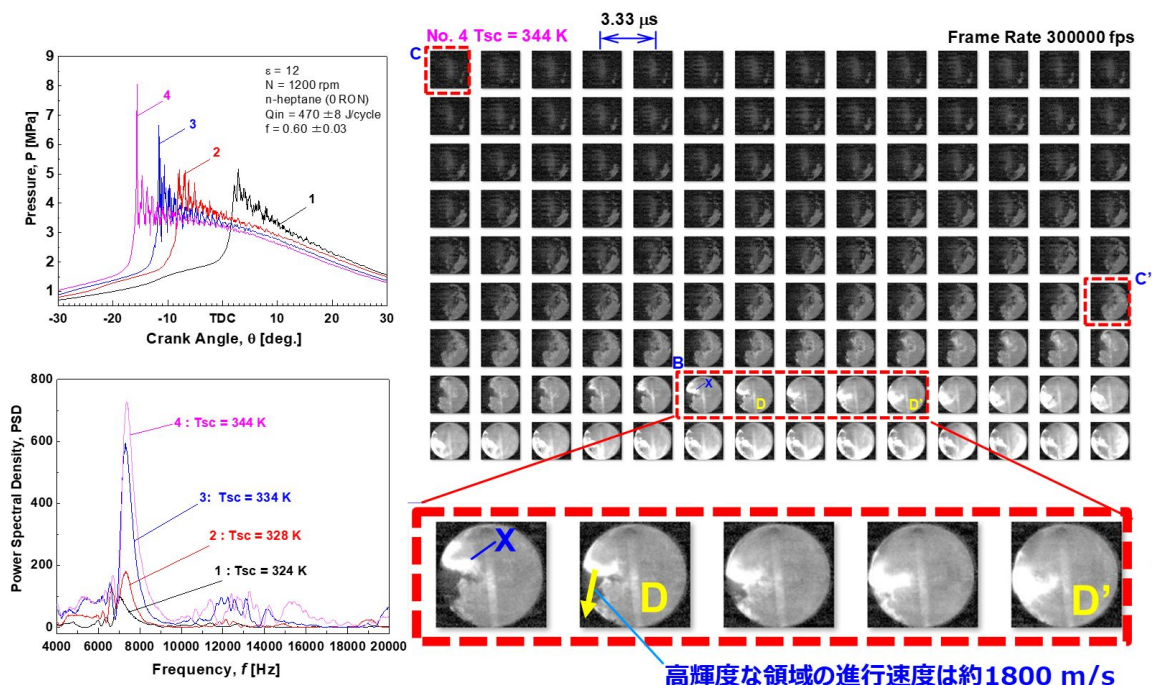


図3 強烈な異常燃焼発生時の自着火が超音速で進行することの実測結果(学会発表, 図書より)

(2) 自着火の成長速度解析による超音速自着火現象の特性解明

強い圧力波が発生する前の段階で、局所で自着火が発生したのち、それが成長する。その途中過程で局所的に強い圧力波が形成され、超音速で進行することで、強烈な圧力振動に遷移する。つまり、自着火と圧力波の相互作用により超音速で進行するディベロッピングデトネーション形態が生じていると考えられる。実際に、それらの進行速度が 1800 m/s 程度であることを高速燃焼撮影で明らかにした。(図4)

実機にて、強い圧力振動の特性を実測し、実際のエンジンで起こる現象と上記「1.」で示した基礎現象との対応を確認した。

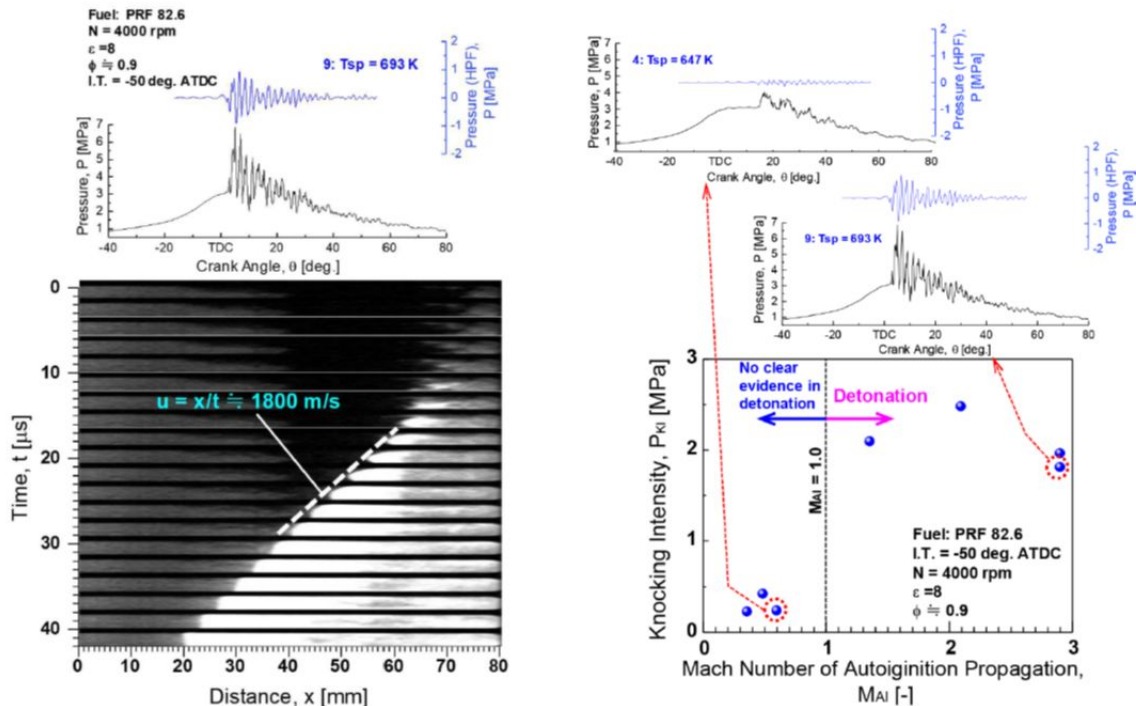


図4 自着火の進行速度の定量解析と異常燃焼の強さの関係 (雑誌論文 より)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

Akira Iijima, Takuya Izako, Takahiro Ishikawa, Takahiro Yamashita, Shuhei Takahata, Hiroki Kudo, Kento Shimizu, Mitsuaki Tanabe, Hideo Shoji, Analysis of Interaction between Autoignition and Strong Pressure Wave Formation during Knock in a Supercharged SI Engine Based on High Speed Photography of the End Gas, SAE International Journal of Engines, P. 2616-2623, 2017. 査読あり。

〔学会発表〕(計4件)

Akira Iijima, Kotaro Takeda, Yuki Yoshida, Zhimin Lin and Hideo Shoji, Study of Interaction between Pressure Waves and Reaction Regions in HCCI Combustion accompanied by Strong Knocking based on High-speed In-cylinder Visualization and Observation, 26th International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS), 2017

居迫拓治, 工藤大貴, 高畑周平, 飯島晃良, 庄司秀夫, 小型 SI エンジンにおける末端部冷却状態がノッキング及ぼす影響, 日本機械学会関東支部山梨講演会, 2017.

佐藤竜也, 田中寛人, 星野飄太, 飯島晃良, 庄司秀夫, 圧縮比変化が過給 HCCI 機関に与える影響, 日本機械学会関東支部山梨講演会, 2017.

高野竣太郎, 田中寛人, 星野飄太, 飯島晃良, 庄司秀夫, 不活性希釈ガスが過給 HCCI 燃焼に与える影響, 日本機械学会関東支部山梨講演会, 2017.

〔図書〕(計1件)

飯島晃良, 基礎から学ぶ高効率エンジンの理論と実際, グランプリ出版, 2018. 161 ページ。

〔その他〕

ホームページ等

日本大学理工学部機械工学科飯島研究室

<http://www.mech.cst.nihon-u.ac.jp/studies/ijijima/>

6 . 研究組織 該当なし

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、研究者個人に帰属されます。