

K2-50

圧縮ピストンの振動が自発点火遅れ時間に与える影響 Influence of vibration of compression piston on ignition delay time

○星谷 拓¹, 室伏 光¹, 高野 由宇生¹, 吉田 洸紀², 齊藤 允教³, 田辺 光昭³* Taku Hoshiya¹, Hikaru Murohushi¹, Yuki Takano¹, Koki Yoshida², Masanori Saito³, Mitsuaki Tanabe³

Abstract; Vibration experiment of compression piston using SRCM was carried out. To obtain a reference date, zero-dimensional reaction calculation without considering vibration was carried out. Experimental results and calculation results are compared, and the effect of vibration of compression piston on ignition delay time was investigated. As a result, it is conceivable that ignition delay time becomes shorter due to the vibration.

1. 序論

近年、環境汚染による地球温暖化や燃料枯渇問題が話題となっており、代表的な火花点火機関では、熱効率の向上が求められている。熱効率の向上のためには、高圧縮比化が必要となる。一方で高圧縮比化はノッキングによる燃焼器の破損に繋がるため高効率化の妨げとなっている。ノッキングとは、ある予混合気に火花点火させると一点から徐々に火炎伝播していき、既燃ガスによる圧力波でエンドガスが圧縮され自発点火し、筒内に圧力の不均衡が生じることで圧力波が生成される。生成された圧力波が往來する現象がノッキングである。自発点火遅れ時間が早まることでエンドガスの燃焼が早まりノッキングが発生する。自発点火遅れ時間の早期化はノッキングの発生に関係していることから、火花点火機関の熱効率の向上のためには、振動が自発点火遅れ時間に与える影響に対する知見が必要である。

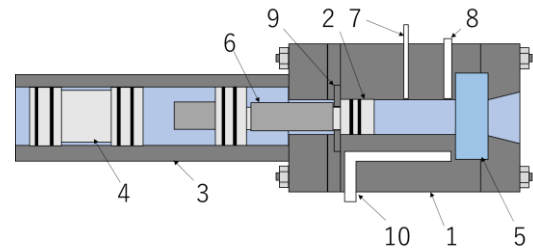
勝俣ら[1]はエンドガスの低温酸化反応により圧力波が生じ、ノッキング発生を早期化する可能性を示した。一方で、振動が自発点火遅れ時間に及ぼす影響は体系的に分析されていない。

本研究では、超急速圧縮装置(SRCM)を用いて圧縮ピストンを振動させ筒内に圧力振動を与えた実験値と 0次元反応計算の結果を比較し、圧縮ピストンの振動が自発点火遅れ時間に与える影響を調査した。低温酸化反応による振動の影響を取り除くため燃料として低温酸化反応が起こらないエタノールを使用した。

2. 実験装置及び実験条件

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。本実験では SRCM と数値計算に Cantera2.3.0 を用いた。SRCM は、実機における一回の圧縮と燃焼行程を模擬する装置で、短い圧縮時間によってより正確な自発点火遅れ時間の計測

が可能であり、圧縮後は定容燃焼を行う。シリンダにはヒータが設置されており、温度調節器により燃焼室内の初期温度を調節することで圧縮端温度の制御をした。シリンダヘッドにはサファイアガラス製の観測窓が設置されている。ボア径 56 mm のシリンダと最大ストローク 128 mm の圧縮ピストンを用いた。従来の実験と比べ[2]駆動ピストンの速度を増加させ、圧縮ピストンを振動させることで燃焼室圧力を増減させた。



- | | |
|-----------------------|------------------------------------|
| 1. Cylinder | 6. Shock absorber |
| 2. Compression piston | 7. Thermocouple |
| 3. Accelerating tube | 8. Pressure sensor |
| 4. Drive piston | 9. Bottom dead center holding ring |
| 5. Sapphire window | 10. Heater |

Figure. 1 Experimental apparatus

圧縮終了後に振動を与えた圧力履歴と圧縮端圧力を Fig. 2 に示す。振動データは、圧縮終了時から振幅が圧縮端圧力の 2% となるまでの振幅を使用する。圧縮端圧力 P_1 は圧縮終了時の 1 回目の振動の最大圧力 P_p と P_p 後の最小圧力 P_p の平均値を使用した。自発点火遅れ時間は、圧縮終了時から主の燃焼による圧力上昇の 20% までとした。

次に、本実験の実験条件を Table.1 に、数値計算の条件を Table.2 に示す。空気組成は窒素 79%Vol, 酸素 21%Vol, エタノールを燃料として実験を行った。

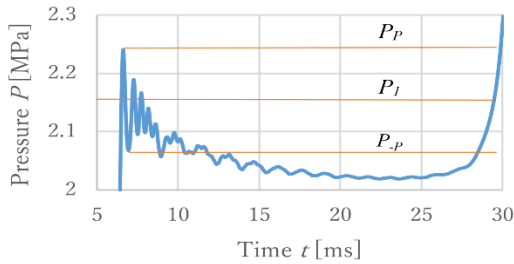


Fig. 2 Vibration date

Table.1 Experiment conditions

Equivalent ratio ϕ [-]	1
Compression ratio ε [-]	10~11
Initial pressure P_0 [atm]	1
Compression end pressure P_1 [MPa]	2.00±0.20
Compression end temperature T_1 [K]	800~870

Table. 2 Numerical calculation condition

Model	AramcoMech2.0[3]
Equivalence ratio	1
Initial puessure P_0 [MPa]	2.0
Initial temperature T_0 [K]	800~870

3. 実験結果及び考察

Table.3 に振動を与えた燃焼室内のデータを示す。

Table. 3 Experiment result

	1	2	3
Compression ratio ε [-]	10.7	10.6	10.5
Compression end pressure P_1 [MPa]	2.14	2.15	1.99
Compression end temperature T_1 [K]	865	814	806
Polytropic exponent [-]	1.29	1.30	1.27
Ignition delay time τ_i [ms]	8.64	56.93	86.16
Average frequency [Hz]	627.9	720.9	698.7
Maximum amplitude [Mpa]	0.35	0.27	0.34
1000/ T_1 [1/K]	1.16	1.23	1.24

最大振幅は圧縮ピストンの周波数の範囲でバンドパスをかけたデータの最大振幅を使用した。バンドパスの範囲を Table. 4 に示す。実験値と計算値のアレニウスプロットを Fig. 3 に示す。

Table. 4 Bandpass range

	1	2	3
High frequency cutoff frequency [Hz]	728	847	848
Low frequency cutoff frequency [Hz]	486	510	477

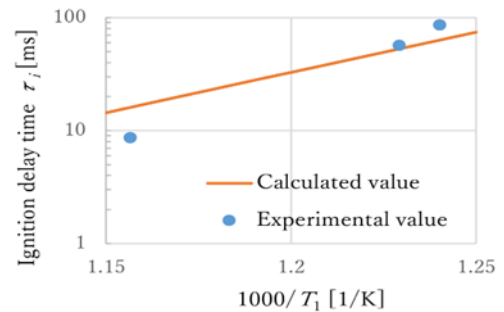


Figure. 3 Calculated value and experimental value

Fig. 3 より、0 次元反応計算の結果を基準に実験結果を評価する。自発点火遅れ時間はデータ 1 では 46 % 早まっており、データ 2 では 12 %、データ 3 では 32 % 遅れている。このことから、振動を与えることで自発点火遅れ時間が早期化する可能性がある。次に、Table. 3 より最大振幅を比較すると、データ 2 が一番小さく、データ 1, 3 は近い値になっている。従って最大振幅が小さいデータ 2 は、自発点火遅れ時間の差が一番小さいことから、振動の最大振幅が小さいほど自発点火遅れ時間に影響が少ない可能性がある。一方で本実験で用いた SRCM は自発点火遅れ時間が長くなると冷却損失の影響が強くなるため冷却の効果を切り分けることができないので振幅の影響については精査する必要がある。データ 3 は冷却の効果より、実験値よりも長い自発点火遅れ時間であったと考えられる。データ 1 は自発点火遅れ時間が早期化していることから、最大振幅が近いデータ 3 も同様に自発点火遅れ時間が早期化した可能性がある。以上より、圧縮ピストンの振動は自発点火遅れ時間を早める可能性がある。

4. 結論

燃焼室圧力の増減による振動を与えると自発点火遅れ時間が早期化する可能性がある。

5. 参考文献

- [1]勝俣 雅人, 日本大学理工学研究科修士論文, 2009
- [2]日比 大雅, 日本大学理工学研究科修士論文, 2012
- [3]G. Mittal, S.M Burke, V.A. Davies, B. Parajuli, W.K. Metcalfe, H.J Curran, Autoignition of ethanol in a raid compression machine, Combust,Flame, 2014