

K2-45

筒内流動が自発点火遅れ時間に及ぼす影響 Influence of In-Cylinder Flow on Spontaneous Ignition Delay Time.

○早乙女碧¹, 大和田志保¹, 張喆源¹, 吉田洗紀², 豊田椋平², 本多浩詩²,
齊藤允教³, 田辺光昭³

*Midori Saotome¹, Shiho Owada¹, Zhang Zheyuan¹, Koki Yoshida², Ryohei Toyoda², Kohei Honda²,
Masanori Saito³, Mitsuki Tanabe³

Abstract: To clarify the characteristics of spontaneous ignition is important for controlling knock. This study discusses the influence of in-cylinder flow on spontaneous ignition delay time that investigated using Super Rapid Compression Machine(SRCM). The employed fuels are *n*-heptane, and the mixed fuel composed of 50% vol. *n*-heptane and 50% vol. *iso*-octane (PRF50). As a result, the spontaneous ignition delay time of *n*-heptane mixture with in-cylinder flow has been prolonged compared to the case without in-cylinder flow in the temperature range where the temperature dependency of the spontaneous ignition delay time is low. In the case of using mixed fuel (PRF 50), the possibility that the in-cylinder flow mainly affects the second induction period was recognized.

1. 序論

昨今、燃料枯渇問題や地球環境問題などから代表的な火花点火機関にはさらなる熱効率の向上が求められている。熱効率の向上の手段として高圧縮比化が挙げられるが、機関破壊に繋がるノッキングと呼ばれる異常燃焼によって妨げられている。ノッキングは未燃ガスの自発点火に起因することから、抑制するためには未燃ガスの自発点火過程を詳細に解析していく必要がある。

渡邊ら^[1]は筒内流動場の渦スケールによって未燃ガスの温度の空間勾配が変化することを数値計算から示した。本多ら^[2]は未燃ガスの自発点火に伴う圧力波の成長要因が自発点火伝播速度であることを実験から明らかにした。また自発点火伝播速度は温度の空間勾配に依存することから、筒内流動により温度勾配を増大させ、自発点火伝播速度を低減させることで圧力波の抑制を試みており、その過程で自発点火遅れ時間の温度依存性が低い温度域で筒内流動により自発点火遅れ時間が増大する可能性を示唆している。自発点火遅れ時間の増大はノッキングの抑制に直接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筒内流動が自発点火遅れ時間に与える影響を詳細に解析することが重要である。

自発点火遅れ時間の温度依存性が低い温度域において自発点火遅れ時間は第一誘導期間 τ_1 と第二誘導期間 τ_2 の和で表される。第一誘導期間は圧縮終了から冷炎開始（冷炎による圧力上昇の 20%）までの期間、第二誘導期間は冷炎開始から主の燃焼開始（主の燃焼による

る圧力上昇の 20%）までの期間で定義される^[3]。

本研究では、単一燃料である *n*-heptane 及び PRF 50 の混合燃料を用いて、筒内流動による自発点火遅れ時間への影響を調査した。

2. 実験装置及び方法

本研究で用いた超急速圧縮装置 (SRCM)^[4]は、火花点火機関の圧縮・燃焼行程のみを模擬できる装置であり、設置されたサファイア窓から燃焼室全域の直接撮影が可能である。筒内流動は、燃焼室内に 60° 千鳥型に穴が配置された多孔板^[1]を挿入し、穴を通過した噴流を利用して形成した。単一燃料 *n*-heptane 及び PRF 50 の混合燃料での実験条件を表 1 に示す。圧縮端温度は初期温度 T_0 、初期圧力 P_0 、圧縮端圧力 P_1 より断熱コアモデルの式より求めた^[3]。

Table1. Experimental conditions

Fuel	<i>n</i> -heptane	PRF50
Equivalent ratio ϕ [-]	0.5	0.6
Compression end pressure P_1 [MPa]	2.0 ± 0.3	2.0 ± 0.3
Compression end temperature T_1 [K]	850, 750	850, 775
Characteristics velocity u'_c [m/s]	4.0 ± 0.6	4.0 ± 0.5

3. 結果及び考察

Figure 1 に *n*-heptane の自発点火遅れ時間の温度依存性を示す。Figure 1 の青線は三好ら^[5]が作成した化学反応モデル SIP-Gd1 を用いた数値計算によって得られた自発点火遅れ時間の温度依存性である。筒内流動による

自発点火遅れ時間の増大を評価するため、筒内流動の有無で自発点火遅れ時間の比較を行なった。750 K, 850 K とともに筒内流動を与えた条件では自発点火遅れ時間が増大した。

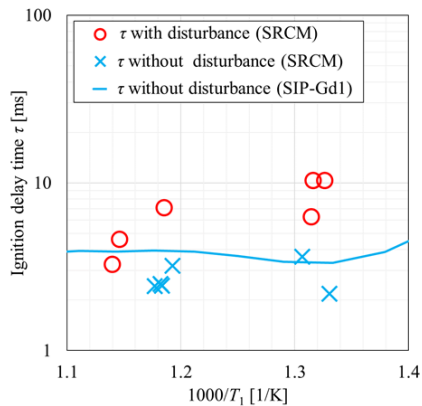


Figure 1 Temperature dependence of ignition delay time (*n*-heptane)

筒内流動による筒内の温度分布への影響は圧縮後 2 ms 程度で最大となり、その後減衰して 5 ms 程度で影響がほとんどなくなる^[1]。すなわち、圧縮終了から自発点火遅れ時間が 5 ms 以上となるような燃料を用いることで、筒内流動の自発点火遅れ時間への影響をより顕著に与えることができると考え、混合燃料 (PRF 50) を用いて、第一誘導期間 τ_1 の異なる低温側と高温側で自発点火実験を行った。図 2 に結果を示す。

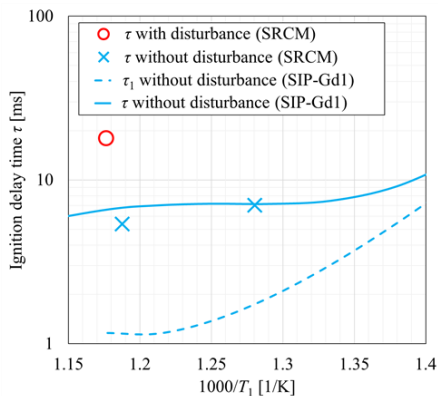


Figure 2 Temperature dependence of ignition delay time. (PRF 50)

高温側では *n*-heptane 同様に乱れありの場合は乱れなしの場合に比べて自発点火遅れ時間が増大した。低温側で乱れなしの場合は自発点火に至ったが、乱れありの場合は自発点火に至らなかった。同条件下において筒内流動が自発点火に及ぼす影響を詳細に調査するために、イメージインテンシファイア及び高速度カメラ、バンドパスフィルター (中心波長 390.00 nm, 半値幅

10 nm, 透過域 45%以上, 阻止域 0.01%以下) を用いて、冷炎反応時に生成される HCHO (ピーク波長 395.2nm) の発光像を取得した。図 3 に取得した筒内の圧力履歴及び波長 390 nm の発光像の輝度履歴を示す。ただし、圧力履歴は装置等の振動除去のために通過域 2.5 Hz のローパスフィルターを通したものであり、輝度履歴は発光像全ピクセル (320×320) の平均輝度の履歴とした。

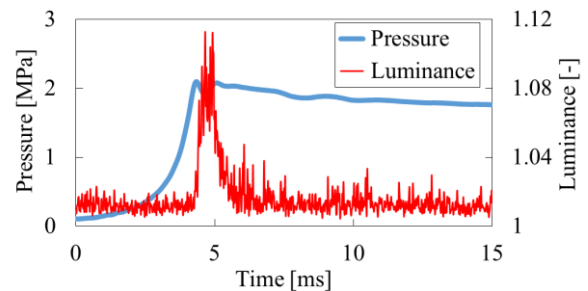


Figure 3 The pressure history and the luminance at wavelength 390 nm when applying in-cylinder flow

図 3 から、主の燃焼に至っていないにもかかわらず、圧縮終了後に波長 390 nm の発光が確認できる。これは HCHO の発光と考えられ、本実験の自発点火遅れ時間の温度依存性が低い温度域において、低温側で乱れありの場合、冷炎は発生するがその後の第二誘導期間への筒内流動の影響によって自発点火に至らなかったと考えられる。

4. 結論

単一な燃料である *n*-heptane で筒内流動場を与えると自発点火遅れ時間が増大する事が確認できた。混合燃料 (PRF50) を用いた場合、筒内流動は主として第二誘導期間に影響を及ぼす可能性がある。

5. 謝辞

本研究は総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プロジェクト)「革新燃焼技術」(管理法人: JST) によって実施された。

参考文献

- [1] 渡辺直哉ら, 第 26 回内燃機関シンポジウム, 2015.
- [2] 本多浩詩ら, 第 27 回内燃機関シンポジウム, 2016
- [3] S.M. Walton. Et al., Combustion Flame, 150, 2007.
- [4] Hibi, T .et al., Journal of Thermal Science and Technology, Vol.8, pp.460-475, 2013
- [5] 三好 明・酒井 康行, 自動車技術会 2017 年春季大会 学術講演予稿集, 2017 年 5 月 24 日 ~ 5 月 26 日, 横浜