K2-30

筒内流動場の渦スケールが自発点火の挙動に及ぼす影響について

Influence of Eddy Scale of In-Cylinder Flow Field on Behavior of Spontaneous Ignition

○宮内 佑輔[1]，本多 浩詩[1]，今井 幸代[1]，倉橋 和也[1]，細田 奈々日[1]，渡邉 直哉[2]，田辺 光昭[3]
*Yusuke Miyauchi[1]，Kohei Honda[1]，Sachiyo Imai[1]，Kazuya Kurahashi[1]，Nanaka Hosoda[1]，Naoya Watanabe[2]，Mitsuaki Tanabe[3]

Abstract: SI combustion was simulated by RCM in order to obtain the knowledge about spontaneous ignition of end gas. *Normal*-heptane/*iso*-octane/air mixture was employed. In-cylinder flow was generated by setting a perforated plate in the cylinder. By changing the diameter and the pitch of the holes of the perforated plates, the eddy scale was changed. The behavior of end-gas spontaneous ignition was investigated by using high-speed spectrometry. As a result, high temperature region at the time of spontaneous ignition with the larger eddy scale is wide and spontaneous ignition occurred over a larger area by the short-term.

１．序論

近年，環境負荷の低減や燃料枯渇問題等により，火花点火機関には更なる熱効率の向上が望まれる．火花点火機関における熱効率向上の手段として高圧縮比化が挙げられているが，ノッキングの発生によって妨げられている．火花点火機関におけるノッキングとは，火炎伝播によって圧縮された未燃ガスが自発点火し，圧力振動を生じさせる現象である．ノッキングの制御・抑制方法として筒内流動場が注目されている．過去の研究よりノッキング強度は燃焼室の体積と既燃ガスの体積の比である燃焼体積割合に依存することが分かっている[1,2]．Hibi et.al.[3]はノッキング強度は燃焼体積割合だけではなく，自発点火後の未燃ガスの燃焼時間に影響を受け，それを筒内流動場の乱れ強さと関連付けている．ここで自発点火直前から未燃ガスが自発点火によって燃え終えるまでの時間を自発点火後の未燃ガスの燃焼時間としている．筒内流動場のパラメータとして乱れ強さのほかに渦スケールが存在するが，Watanabe et.al.[4]が筒内流動場の渦スケールが，自発点火後の圧力上昇率とノッキングマージンに与える影響について報告しているが，渦スケールと自発点火の挙動の関係性については考慮されていない．CH は自発点火に伴って生成されるため，自発点火の挙動を観察する上で重要な化学種である．そこで，短い圧縮時間と，実機相当の強い流動場を模擬することができる超急速圧縮装置（SRCM）[3,4]と CH の自発光スペクトルのピーク値である 431.5 nm[5]を観測できる光学フィルターを用いて，高速分光実験を行った．本研究では，燃焼体積割合と乱れ強さを一定として，燃焼室全域が未燃ガスであり，渦スケールの影響を受けやすいと思われる HCCI 燃焼を用いて，筒内流動場の渦スケールを変化させたときの，自発点火の挙動について調査した．

２．実験装置及び条件

実験では圧縮時間が約5 ms，実機相当の一回の圧縮・燃焼行程を模擬できるSRCMを使用した．自発点火の挙動を観察するために，Fig.1の示すようなシリンダヘッドにサファイア製の窓を取り付け，中心波長430 nmのバンドパスフィルター，イメージインテンシファイア，高速度カメラを用いてCHの発光画像を取得した．乱れの発生方法はサファイア窓から15 mmの位置にFig. 2に示すような穴の配置が60°千鳥型の多孔板を設置し，圧縮行程中にピストンの急速圧縮によって押し出された混合気が多孔板を通過することで縦渦を発生させ，強い筒内流動場を模擬した[3,4]．多孔板の穴径をd ,隣り合う穴の中心間の距離をピッチp とする．多孔板の直径は52 mmである．d = 5 mm, p = 6.5 mmの多孔板を挿入したとき，小さく数の多い渦が形成されており，「Small eddy scale」とされている[4]．d = 10 mm p = 13 mmの多孔板を挿入したとき，大きく数の少ない渦が形成されており，「Large eddy scale」とされている[4]．さらに，同様な影響をもたらすパラメータとして特性乱れ強さ[6]が挙げられ，以下の式で定義される．

$$u'_c = \frac{U_m}{A_r \cdot \varepsilon} \tag{1}$$

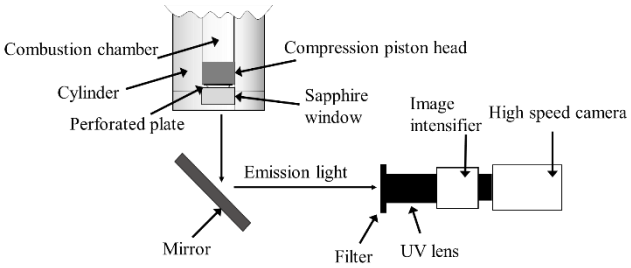

Figure 1. Experimental apparatus

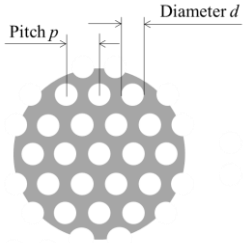

Figure 2. Perforated plate

1：日大理工・学部・航宇　2：日大理工・院（前）・航宇　3：日大理工・教員・航宇

U_m は圧縮ピストンの平均速度，A_r は筒内開口率（径方向の筒内断面積あたりの開口部面積 ），ε は圧縮比を表している．本研究では特性乱れ強さを一定とする条件下でスケールの異なる渦を発生させるため，A_r を同値としながら，穴径 d 及びピッチ p の異なるものを使用した．u'_c =2.5±0.3 m/s，A_r =61.3±1.2 %，U_m =23.5±0.5 m/s，ε =15.2±0.5 として，d =5 mm, p =6.5 mm と d =10 mm, p =13 mmの多孔板を用いた．実験条件は初期圧力0.1 MPa, 初期温度423±3 K, 圧縮時間は5.2±0.1 ms, 高速度カメラのフレームレートは62640 fpsとした．燃料は*n*-heptane（10%vol.）と*iso*-octane（90%vol.）の混合燃料を用いてオクタン価90とした．当量比は0.7とした．バンドパスフィルターには中心波長430.00 nm, 半値幅10 nm,透過帯45 %以上,阻止域0.01 %以下のものを用いた．

３．実験結果及び考察

Figure 3 に各渦スケールにおける CH の発光画像を示す．自発点火する 1 フレーム前を 0 ms とした．小さい渦スケールのときは燃焼室上部から徐々に連続的な自発点火が発生している様子が確認できた．大きい渦スケールのときも燃焼室上部から連続的な自発点火が発生しているが，短期的に，より広範囲に渡っている様子が確認できた．圧縮終了時から自発点火の CH の発光が確認されるまでの時間は小さい渦スケールは約 0.83 ms，大きい渦スケールは約 0.60 ms であったので，本実験の自発点火は渦の影響を受けている[4]．Figure 4 の左側にそれぞれの多孔板を挿入した燃焼室を示す．測定範囲は黄色い枠で示されている，横幅は多孔板のピッチ，縦の長さは多孔板の直径である．この範囲の CH バンドの空間的な発光強度分布の時間履歴を Fig. 4 の右側に示す．小さい渦スケールのときの空間的な発光強度分布の時間履歴は Fig. 4a ，大きい渦スケールのときの空間的な発光強度分布の時間履歴は Fig. 4b ，横軸は自発点火する 1 フレーム前を 0 ms とし，燃焼が完了するまでの時間を示している．縦軸は多孔板の直径を示している．図中の黒い丸は CH の発光が始まっている点，即ち自発点火が発生している点を示す．Fig. 3 及び 4 より，小さい渦スケールでは自発点火が連続的に発生し，大きい渦スケールでは燃焼室上部における自発点火による燃焼が急激に進行した．この自発点火により未燃ガスが圧縮され，さらに自発点火を引き起こしている．自発点火が高温部から発生すると仮定する．高温部の領域が広ければ，自発点火による燃焼はより広い範囲において短時間で発生し，狭ければ燃焼は狭い範囲に留まる．大きい渦スケールの場合，自発点火時の高温領域が広くなっていたものと思われる．つまり，渦スケールで高温部の領域の大きさが変わった可能性があり，また自発点火後の燃焼が変わる可能性がある．

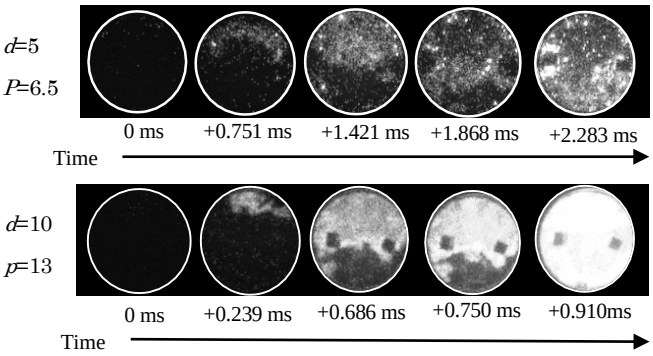

Figure 3. Behavior of the spontaneous ignition with each eddy scale

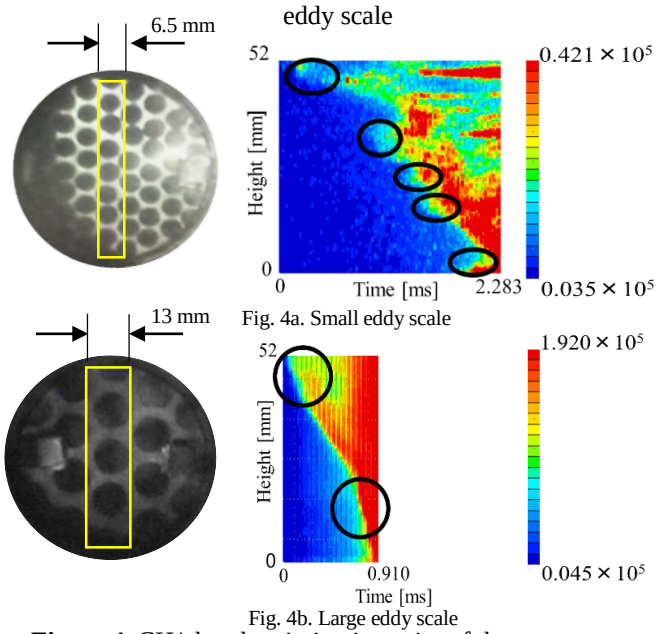

Fig. 4a. Small eddy scale

Fig. 4b. Large eddy scale

Figure 4. CH*-band emission intensity of the spontaneous ignition with the each eddy scale

４．結論

筒内流動場の乱れ強さを一定とした条件において渦スケールを変化させた場合，大きい渦スケールの方が自発点火時の高温領域が広く，短期的に，より広範囲に渡って自発点火が発生する可能性がある．

５．参考文献

[1]Kumagai, S. et al., Science of Machine 5:661, 1953
[2]Kono, M. et al., Combust. Flame, Vol54, pp.33-47, 1983
[3]Hibi, T. et al., Journal of Thermal Science and Technology, Vol.8, pp.460-475, 2013
[4]Watanabe, N. et al., SAE paper 2015-01-1876, 2015
[5]Gaydon, A. G., The Spectroscopy of Flame-2nd Edition, Chapman and Hall Ltd., 1974
[6]Mitsuaki, T.,et al., 5thPACME, 2012