K2-42

乱流によるノッキングの抑制効果

The Effect of Turbulent Condition on Controlling Knock.

○宇佐美勇介[1], 豊田椋平[1], 吉田洸紀[1], 本多浩詩[2], 田辺光昭[3]
*Yusuke Usami[1], Ryohei Toyoda[1], Koki Yoshida[1], Kohei Honda[2], Mitsuaki Tanabe[3]

Abstract: To analyze the characteristics of spontaneous ignition is important for controlling knock. Temperature dependence of spontaneous ignition delay time and temperature gradient influences the characteristics of spontaneous ignition. This study clarifies the influence of temperature dependence of spontaneous ignition delay time and temperature gradient on pressure wave. Super rapid compression machine was employed with perforated plate in order to generate the temperature gradient. As a result, influence of temperature dependence of ignition delay time on pressure wave is confirmed the present experiments. The gradient generated by the perforated plate is able to control pressure wave caused by spontaneous ignition.

１．序論

火花点火機関には熱効率向上のために高圧縮比化が有効な手段として挙げられるが，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．このノッキングの発生機構を詳細に解明することが，ノッキングの抑制，回避に重要である．これまでの研究で，Hibi et al. はノッキング強度が燃焼体積割合の他に，エンドガスの燃焼時間にも依存していると報告した[1]．エンドガスの燃焼時間は温度の不均一性に起因し，Bradley et al. は圧力波の生成過程に温度勾配による自発点火遅れ時間の差異が影響していることを式(1)及び式(2)より述べている[2]．

$$\xi = \frac{a}{u_a} = a\left(\frac{dT}{dr}\right)\left(\frac{d\tau_i}{dT}\right) \tag{1}$$

$$\left(\frac{d\tau_i}{dT}\right) = -\tau_i\left(\frac{E}{RT^2}\right) \tag{2}$$

ξはデトネーション遷移条件に関する無次元パラメータであり a は音速，u_aは自発点火伝播速度，τ_iは自発点火遅れ時間，E は見かけの活性化エネルギ，R は気体定数である．ξが減少すると，強い圧力波が発生し，さらに減少すると強い圧力波は発生しなくなる．Watanabe et al.は高速分光測定により，式（1）の温度勾配dT/drが引き起こす自発点火挙動を調査した．大きい渦スケールでは小さい渦スケールより大きな混合気の塊で自発点火し，急激な自発点火の燃え拡がりとなると報告している[3]．炭化水素系燃料は温度と自発点火遅れ時間の関係において，冷炎支配領域，負の温度係数領域，青炎支配領域と異なる 3 つの温度域に分類される[4]．負の温度係数領域では，式（2）で表される自発点火遅れ時間の温度依存性$d\tau_i/dT$の支配要因のうちの見かけの活性化エネルギEが小さくなることで，ξは減少し強い圧力波が発生すると考えた．また筒内流動により温度勾配dT/drを大きくすることでξは増加し，強い圧力波の発生を抑制できると考えた．本研究では超急速圧縮装置を用いて混合気の自発点火遅れ時間の温度依存性$d\tau_i/dT$を調査し，さらに筒内流動による温度勾配dT/drの変化が自発点火による圧力波生成に及ぼす影響について知見を得ることを目的とした．

２．実験装置及び方法

本研究で用いた超急速圧縮装置(SRCM)[1]は，実機の圧縮・燃焼行程を一回模擬する装置で，約 5 ms での急速圧縮が可能である．従来型の急速圧縮装置(RCM)より広い温度域で自発点火遅れ時間の温度依存性の調査が可能である．筒内流動によって温度勾配を変化させるために，燃焼室内に多孔板を挿入して実験を行った．これにより形成された渦が観測窓壁面の低温境界層を巻き込み，筒内の温度勾配を変化させる[3]．乱れ強さは，運動量を考慮した平均吹き出し速度である特性乱れ強さu_c'で見積もった[5]．燃料は RON90.8，MON82.9 の 5 種ガソリンサロゲート S5R[6]を用いた．実験で得た圧力履歴から，自発点火遅れ時間τ_i，圧力上昇率$(dP/dt)_{max}$，圧縮端温度T_1，圧力振幅を算出した．自発点火遅れ時間は圧縮終了から燃焼開始（主の燃焼の 20%）までの時間とした．圧力上昇率は主の燃焼の圧力上昇の時間微分の最大値とし，圧力振幅は圧力履歴からバンドパスフィルタを用いて抽出したノック周波数付近の圧力振動成分の最大振幅とした．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．定圧比熱C_pは温度変化を考慮にいれ Chemkin データベースを用いた．

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

３・結果・考察

筒内流動による温度勾配dT/drの影響を評価するため，自発点火遅れ時間が同等の値をとるような当量比$\varphi = 0.5$で多孔板無し，当量比$\varphi = 1.0$で多孔板有り，当量比$\varphi = 0.8$で多孔板有りの3つの条件を選択し実験を行った．圧縮端圧力$P_1 = 3.30 \pm 0.35$ MPa，圧縮端温度$T_1 = 714\sim983$ Kの範囲で比較した．当量比$\varphi = 0.8$, $\varphi = 1.0$の実験で挿入した多孔板は，穴径$d = 10$ mm，ピッチ$p = 13$ mmで，筒内開口率（径方向の筒内断面積当たりの開口部面積）は$A_r = 0.536$，特性乱れ強さは$u_c' = 3.00\sim3.52$である．図 1 に自発点火遅れ時間τ_iと圧縮端温度T_1の関係を示す．全ての条件に対して，自発点火遅れ時間$\tau_i = 10$ ms付近では圧縮端温度T_1の変化に対して，自発点火遅れ時間τ_iの変化が小さく，自発点火遅れ時間の温度依存性$d\tau_i/dT$の低い温度域が確認できる．図 2 に圧力上昇率$(dP/dt)_{max}$と自発点火遅れ時間τ_iの関係，図 3 に圧力振幅と自発点火遅れ時間τ_iの関係を示す．当量比$\varphi = 0.5$，多孔板無しに着目すると，$\tau_i = 10$ ms付近の温度域で圧力上昇率，圧力振幅が他の温度域に比べて相対的に大きくなっていることがわかる．$\tau_i = 10$ ms付近の温度域では式（2）の見かけの活性化エネルギE（図 1 のデータ列の傾きを表す指標）が 0 に近い値となり自発点火遅れ時間の温度依存性$d\tau_i/dT$が低くなるため，式（1）におけるξは小さくなり，圧力上昇率と圧力振幅は大きな値になったと考えられる．他の温度域での圧力上昇率と圧力振幅は，相対的に低い値となっている．これらの温度域は$\tau_i = 10$ ms 付近と比較して自発点火遅れ時間の温度依存性$d\tau_i/dT$が高いため，式（1）のξが大きくなり，圧力上昇率と圧力振幅は小さい値になったと考えられる．当量比$\varphi = 1.0$，当量比$\varphi = 0.8$の多孔板有りでは圧力上昇率と圧力振幅は共に自発点火遅れ時間に関わらず相対的に小さい値となった．多孔板により温度勾配dT/drが大きくなることで式（2）のξは大きくなり，圧力上昇率と圧力振幅が小さい値になったと考えられる．

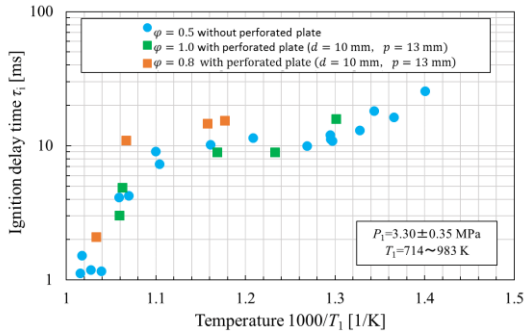

Figure.1 Temperature dependence of Ignition delay time

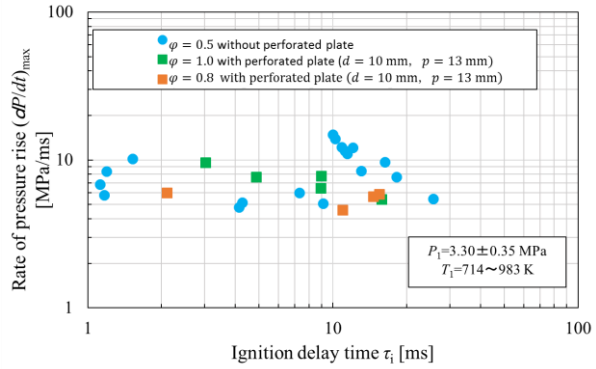

Figure. 2 The relationship between rate of pressure rise and ignition delay time

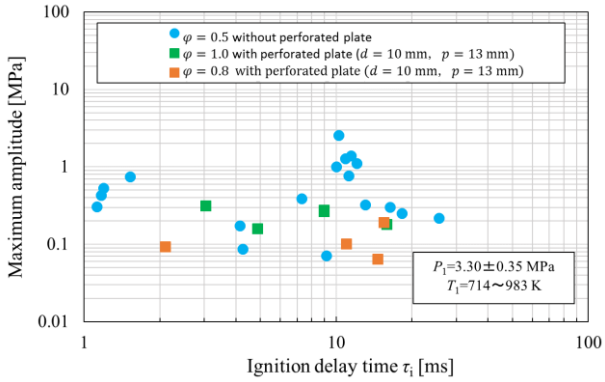

Figure. 3 The relationship between maximum amplitude and Ignition delay time

４．結論

筒内に乱れがなく，当量比$\varphi = 0.5$の希薄条件下において，自発点火遅れ時間の温度依存性が圧力波生成に影響を及ぼす事が確認できた．当量比$\varphi = 1.0$，当量比$\varphi = 0.8$の乱流条件下では多孔板で形成された乱れと温度勾配によって，$\tau_i = 10$ ms付近での強い圧力振動を抑制できた可能性がある．

参考文献

1. HIbi, T. et al., Journal of Thermal Science and Technology, Vol.8,pp.460-475, 2013.
2. D, Bradley., Philosophical Transaction of the Royal Society A, 370, 689-714,2012.
3. 渡邉　直哉ら，第 26 回内燃機関シンポジウム，2015.
4. Iijima, A., Jornal of the Combustion Society of Japan, Vol.57,2015.
5. Tanabe, M.et al., 5th PACME, 2012.
6. Miyoshi, A.private communication.