

超急速圧縮装置を用いた温度場の均一性が HCCI 燃焼に及ぼす影響の評価

Evaluation on effect of uniformity in temperature field in HCCI combustion
using a Super Rapid Compression Machine

○佐藤考¹, 日比大雅¹, 西國原慶介¹, 有馬亨¹, 長谷川智弘², 木下雅晃³, 伊藤信祐³, 田辺光昭⁴
*K.Sato¹, T.Hibi¹, K.Nishikunihara¹, T.Arima¹, T.Hasegawa², M.Kinoshita³, N.Ito³, M.Tanabe⁴

Abstract: HCCI combustion has been studied by using a super rapid compression machine that can realize the compression stroke of reciprocating engine at high engine speed. HCCI combustion is affected by the mixture temperature field. In this study, effect of temperature homogeneity in HCCI combustion is evaluated using two kinds of piston. In case of piston head without crevice, vortex arises and makes temperature field in the combustion chamber inhomogeneous. With crevice, vortex is suppressed and temperature field becomes homogeneous. As a result, in case of small cool flame heat release, burn rate in the homogeneous case is found to be higher than the one in the inhomogeneous case. Regardless of octane number, it was confirmed that the ignition delay time is shortened when the uniform temperature is achieved.

1. 緒言

大気汚染や燃料枯渇等の問題が深刻化し、内燃機関には有害排気物質と燃料消費率の同時低減が求められている。それらの要求を満たす内燃機関として予混合圧縮自発点火(HCCI)^[1]エンジンが提案されている。現状の HCCI エンジンでは、高回転領域において急激な圧力上昇やノッキングによりエンジンに高負荷がかかり、運転領域が低回転領域に限られている。運転領域拡大のために超急速圧縮装置(SRCM)^[2]を用い、HCCI 燃焼の基礎データを取得し、自発点火及び燃焼の特性を明らかにすることが有効である。一般的な HCCI 燃焼実験で用いられる円柱型のピストンで圧縮を行う場合、燃焼室内に巻き上げ渦が発生し、温度場が不均一になる。HCCI 燃焼は燃焼室内の混合気の影響を強く受ける。基礎データとして HCCI 燃焼を評価するためには、巻き上げ渦を抑制し燃焼室内の温度場が均一であることが望まれる。円柱側面にクレビスを設けると巻き上げ渦が抑制され、温度場が均一になると報告されている^[3]。本研究では PRF をパラメータとし、温度場の均一性が HCCI 燃焼に与える影響を調査する。

2. 燃焼室内の巻き上げ渦の発生と抑制

円柱形状のピストンヘッドを渦発生型ピストン、側

面にクレビスを設けたものを渦抑制型ピストンとする。Figure 1 に空気圧縮を行った際の燃焼室内温度分布の数値計算結果を示す。計算条件は、ボア 56 mm, 初期圧力 0.10 MPa, 初期温度 300 K で(a)は渦発生型ピストン, 圧縮比 15, (b)は渦抑制型ピストン, 圧縮比 18 とした。

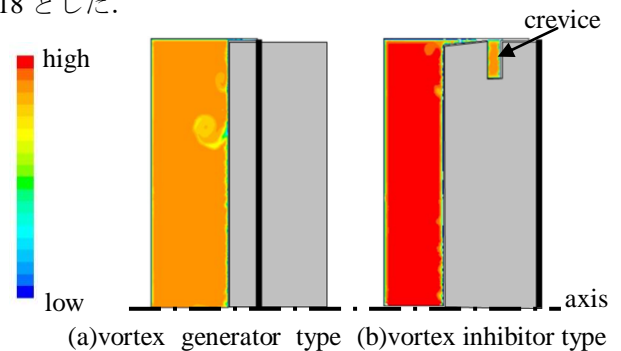


Figure 1. Calculated temperature distribution in combustion chamber

(a)では巻き上げ渦により燃焼室内に不均一な温度場が生成される。これは燃焼室内に元々低温の壁面境界層が存在し、ピストン圧縮時に生じる巻き上げ渦により低温部が輸送されるためである。(b)では巻き上げ渦が抑制され、圧縮後の燃焼室内の温度場が均一になる。側面に設けたクレビスがシリンダ壁面の境界層を吸い取ることで巻き上げ渦を抑制できたと考えられる。

3. 実験装置及び方法

SRCM(ボア 56 mm ストローク 124 mm) を実験に用いた。ピストンヘッドは 2 節に示した渦発生型ピストンと渦抑制型ピストンを用いた。燃焼室内圧力は、燃焼室壁面に設置した圧電型圧力変換素子(Kistler, type6052C)により取得した。

実験条件は、初期温度を常温(300±5 K)とし、初期圧力は 0.10 MPa とした。正ヘプタンとイソオクタン(混合燃料(PRF 0, 60, 90, 100))を使用し、空気と予混合した。当量比 ϕ は 1, 圧縮比 ε は 12.5±0.8 とした。また、圧縮に要する時間は約 5 ms である。

4. 実験結果及び考察

Figure 2 に二種類のピストンヘッドにおける PRF と Burn Rate の関係を示す。ここで Burn Rate とは、主の燃焼時の燃焼室内の圧力上昇率である^[4]。PRF 0, 60 の条件では二種類のピストンヘッドで大きな差が生じなかった。これは冷炎による発熱量が大きく、渦により生成された不均一な温度場が均一化^[5]されたためだと考えられる。PRF 90, 100 の条件では冷炎による発熱量が小さく、巻き上げ渦がある場合では冷炎発生後も温度場が不均一であることが考えられる。着火時期は温度に依存するため、主の燃焼の開始が場所によってばらつき、均一な場合に比べ Burn Rate が下がったと思われる。

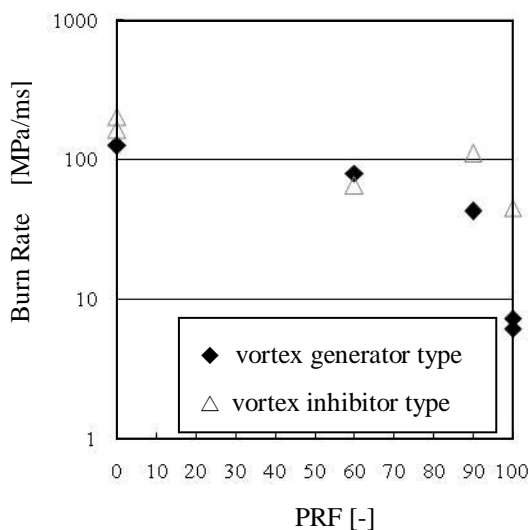


Figure 2. Dependences of the Burn Rate on PRF.

Figure 3 に二種類のピストンヘッドにおける PRF

と自発点火遅れ時間^[6]の関係を示す。

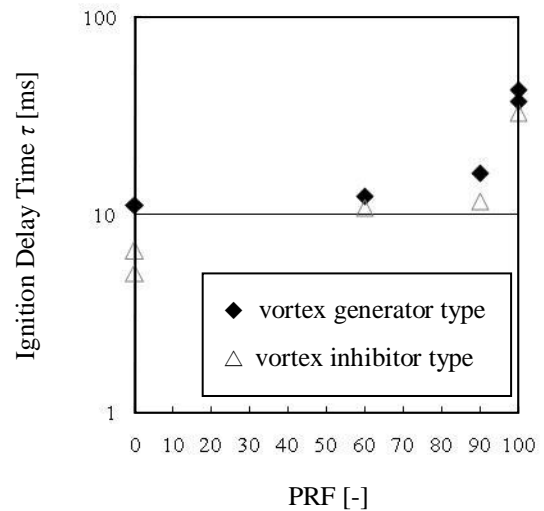


Figure 3. Dependences of the Ignition Delay Time on PRF.

渦抑制型ピストンでは渦発生型ピストンに比べ、全ての条件で自発点火遅れ時間が短いことがわかる。渦発生型ピストンにより燃焼室内の混合気が攪拌されることで、ダムケラー数が小さくなる。ダムケラー数は、流れと化学反応の時間スケールの比をとった無次元数である。渦抑制型ピストンの場合は、攪拌がおこらないためダムケラー数が大きくなり、自発点火遅れ時間が短くなると考えられる。

5. 結言

- ・冷炎による発熱量が小さい時、温度場が均一な場合では不均一な場合に比べ、Burn Rate が大きくなる。
- ・PRF に関係なく温度場が均一な場合では不均一な場合に比べ、自発点火遅れ時間は短くなった。

6. 参考文献

- [1] Najt, P.M., et al., SAE Paper 830264 (1983)
- [2] Y. Watanabe, et al., SAE: Paper, 2008-01-2403 (2008)
- [3] D. Lee and S. Hochgreb, Combust. Flame 114:531-545 (1998)
- [4] 木下雅晃・他 4 名：燃焼シンポジウム (2009)
- [5] 林玉澤・他 2 名：自動車技術会論文集 38(1), pp97-102 (2007)
- [6] Tanaka et al, Combustion and Flame 132, pp. 221-224, 229 (2003)