

K2-46

急速圧縮装置を用いた局所的な非平衡プラズマ放電によるオゾンの空間分布の測定 Measurement of Spatial Distribution of Ozone by Local Non-Equilibrium Plasma Discharge by using Rapid Compression Machine

○竹中 健二¹, 松澤 良多¹, 宮内 佑輔², 齊藤 允教³, 田辺 光昭³
*Kenji Takenaka¹, Ryota Matsuzawa¹, Yusuke Miyauchi², Masanori Saito³, Mitsuaki Tanabe³

Abstract; To clarify concentration of distribution of ozone after compression, measured using Super Rapid Compression Machine (SRCM) and imaging spectrophotometry. Normal-heptane / oxygen / nitrogen premixed gas was spontaneously ignited by using SRCM. Ozone distribution generated by dielectric barrier discharge was investigated using an imaging spectrometry of 253.7 nm. As a result, because the concentration of distribution of ozone exists after compression, it is considered that the concentration distribution of the highly reactive radical exists after completion of compression. It is considered that the non-uniformity spontaneous ignition mechanism Miyauchi et.al. reported is right.

1. 序論

燃料消費率と有害廃棄物の同時低減の要求を満たす内燃機関として均質予混合圧縮自発点火(Homogeneous Charge Compression Ignition : HCCI)機関が注目されている。しかし、HCCI 機関は予混合気の物理的な着火起因がなく燃焼開始が自発点火現象によって決まるため、自発点火遅れ時間の制御が困難であり、高負荷条件では急激な圧力上昇により機関の破壊が起こる。この問題の解決手法の一つとして非平衡プラズマ放電による自発点火促進技術が注目されている。白石らは非平衡プラズマ放電によって高反応性ラジカルであるオゾンが生成され、低温酸化反応が促進されることを報告している^[1]。宮内らは非平衡プラズマ放電を局所的に与え、オゾンの空間分布を変化させることで、燃焼時間が長期化し圧力上昇率が低減できる可能性を示している^[2]。しかし、圧縮前の高反応性ラジカルの空間分布が圧縮後も変わらず存在すると仮定した場合の議論であり、圧縮後の高反応性ラジカルの空間分布は確認されていない。

本研究は、*n*-heptane、窒素、酸素を用いた混合気に対して誘電体バリア放電によって非平衡プラズマを生成し、超急速圧縮装置(SRCM:Super Rapid Compression Machine)^[4]、吸光光度分析法を用いて圧縮後のオゾンの空間分布を測定した。

2. 実験装置及び実験条件

実験装置は超急速圧縮装置を用いた。SRCMは1回の圧縮・燃焼行程を模擬可能な装置であり、シリンダーの最大ストロークが124 mm、ボアが56 mmである。誘電体バリア放電(DBD:Dielectric Bamier Discharge)プ

ラグを燃焼室の壁面上部に設置した。対向する位置には圧力変換素子(KISTLER, type6052C)を設置し、燃焼室内の圧力の時間履歴を取得した。高反応性ラジカルの空間分布を測定する手法として吸光光度分析法を用いた。本実験ではオゾンの吸光波長を選択し、光源には水銀キセノンランプ(浜松ホトニクス, L2423)を使用した。SRCM内の燃焼室に予混合気を充填させ、大気圧条件下で非平衡プラズマを放電させた。光源から光をハーフミラーに照射し、入射光を高速カメラ(nac, MEMRECAM HX-5 color)で検出した。ハーフミラーを透過した光は、鏡面加工したピストン冠面で反射させ、予混合気に透過させた光をイメージング分光器(分光計器, MK301)、イメージインテンシファイア(Invisible vision, Model 1850-10)、高速カメラ(nac, MEMRECAM HX-5 Monochrome)によって検出した。吸光光度分析法で使用した実験装置の配置図を Fig. 1 に示す。測定範囲を Fig. 1 矢視 A の青枠で示し、燃焼室上部から35 mm、幅を0.1 mmとする。

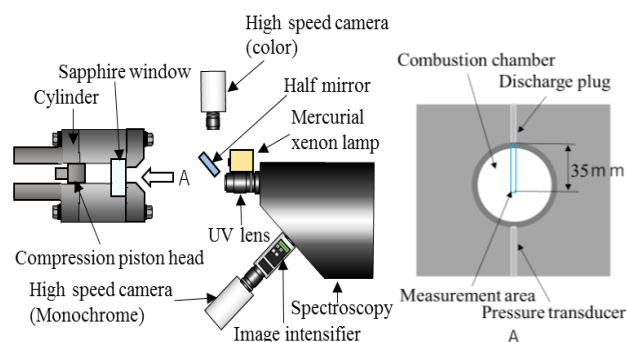


Figure 1. Experimental apparatus

実験条件は、燃料に *n*-heptane を使用し、当量比 $\phi=1.0$,

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

初期圧力 $P_0=0.1$ MPa, 初期温度 $T_0=293$ K, 圧縮比 $\epsilon=11.7$, 圧縮端圧力 $P_1=2.7$ MPa, 圧縮端温度 $T_1=664$ K とした. 非平衡プラズマ放電は, 圧縮開始前 5 s 前から燃焼終了まで与え続け, 放電電圧 10 kV, 放電周波数 20 kHz とした.

3. 実験結果及び考察

Figure2 に吸光光度分析法より取得した圧縮前後のオゾンの吸光分布を Fig. 3 に示す. オゾンは 253.7 nm で最大の吸収帯を持つことから^[4], その波長での発光を持つランプを用いることで燃焼室内のオゾンの空間分布が確認できる. 吸収度 $A_{253.7}$ は, 非平衡プラズマを与えていない場合の水銀キセノンランプの透過光の強度を $E_{without}$, 与えた場合の透過光の強度を E_{with} とし, (1)式によって定義した.

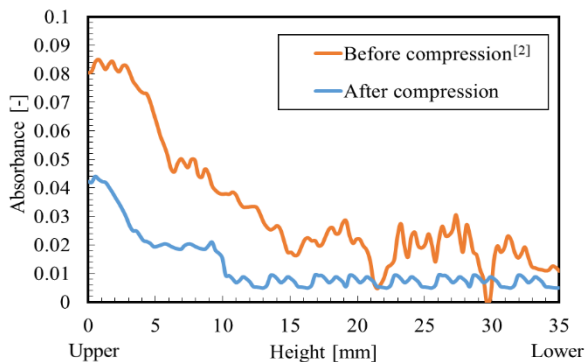


Figure2. Distribution of absorption of ozone

$$A_{253.7} = \frac{E_{without} - E_{with}}{E_{without}} \quad (1)$$

Figure2 より, 圧縮前に与えた非平衡プラズマにより生成されたオゾンは, 圧縮後も燃焼室上部に濃度が高い状態で維持されることがわかる. 宮内らは非平衡プラズマ放電によって生成される圧縮前のオゾンの空間分布を測定しており, オゾンの不均一分布によって筒内全面で自発点火する燃焼から, 放電プラグ近傍より連続的に自発点火する燃焼に変化したことを述べている^[2]. 圧縮後もオゾンの濃度分布が維持されていることが確認でき, 宮内らが報告している非平衡プラズマ放電によるオゾンの不均一分布により自発点火伝播速度が減少し, 燃焼が緩慢になることで圧力上昇率を低減できるという不均一着火の機構は正しいと思われる.

Figure3 は, 非平衡プラズマ放電の印加時間と燃焼時間及び圧力上昇率の関係を示す^[5]. 非平衡プラズマを印加しない場合では燃焼時間は短く, 圧力上昇率が高いことがわかる. 非平衡プラズマを印加した場合には

印加時間が 2 s のとき最も燃焼時間が長く, 圧力上昇率は最も低減している. 印加時間 2 s 以降は燃焼時間が短期化し, 圧力上昇率が高くなる傾向がある. 印加時間を変えることで, 燃焼時間及び圧力上昇率の変化が見られた. 今後, 印加時間によるオゾンの濃度分布の調査で仮説は検証できる可能性がある.

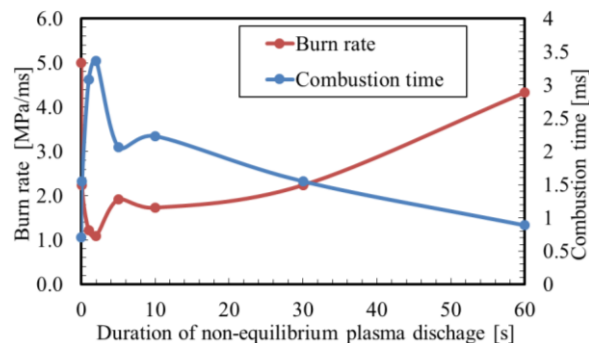


Figure3. The relation between the duration of non-equilibrium plasma discharge, combustion time and burn rate^[5]

4. 結論

- ・圧縮終了後にオゾンの濃度分布が存在することから圧縮終了後も活性種の濃度分布が存在すると考えられ, 宮内らが報告している不均一着火の機構は正しいと考えられる.
- ・印加時間を変えることで燃焼時間及び圧力上昇率の変化が見られた. 今後, 印加時間によるオゾンの濃度分布の調査で仮説は検証できる可能性がある.

5. 謝辞

本研究は日本大学理工学部先導研究推進助成金に採択された「プラズマ応用による内燃機関の革新的効率化に関する研究」の支援により実施された.

6. 参考文献

- [1] 白石泰介ほか, 動車技術会論文集, Vol42, No6, pp.1361-1366, 2016
- [2] 宮内佑輔ほか, 第 27 回内燃機関シンポジウム, 2016
- [3] 渡辺雄介ほか, 日本機械学会関東支部第 14 期総会講演会講演論文集, pp. 263-264, 2008
- [4] K. Mauersberger, Geophysical Research Letters, Vol. 13, Issue7, pp. 671-673, 1986
- [5] 反町侑貴ほか, 日本大学理工学研究科 修士論文 2014