

共同利用研究ハイライト

サブナノ秒レーザーを用いた
レーザー点火の基礎特性

赤松 史光 大阪大学大学院工学研究科 教授 林 潤 大阪大学大学院工学研究科 講師

2014年現在であっても、世界のエネルギー需要の8割以上は化石燃料の燃焼によって賄われている。多量の化石燃料の使用および燃焼に伴う二酸化炭素の排出量増加は世界的な問題として認識されており、今後の燃焼機関には、高い熱効率を達成しつつ二酸化炭素排出を抑えた燃焼方法が求められる。熱効率向上を目的として、希薄化や高圧縮条件となる燃焼法が検討されているが、これらの燃焼法は燃焼および点火の不安定性が問題となる。この燃焼および点火の不安定性を克服することを目的として、先進的な点火手法に注目が集まっている。レーザー点火は、可燃性混合気中においてブレイクダウンによるプラズマを形成して点火を実現する先進的な点火手法の一つである。著者らは可燃性混合気の物理条件（例えば、初期圧力や温度、燃料と空気の混合比）に対するレーザー点火の基礎特性に対して、これまで研究を行ってきた^[1, 2]。図1は8 nsのレーザーの時間プロファイルの半値幅（以下、パルス幅とする）、発振波長532 nmのレーザーを用いて得られた、初期圧力に対するレーザー点火に必要な最小の入射光エネルギー（以後、最小点火エネルギーとする）の関係を示している。凡例は、空気過剰率（燃料を過不足なく燃焼させるために必要な空気量に対する供給した空気量の比）である。図1は、空気過剰率1.9の条件でも点火が可能であることを示している。この空気過剰率の条件は、同一実験装置における従来の点火装置では点火が不可能な条件であり、レーザー点火によって従来

よりも燃料希薄な条件において点火が可能となる事を示している。

レーザー点火では、レーザーを用いて可燃性混合気中にプラズマを形成することで点火を行うため、可燃性混合気の物理条件だけでなく、点火源となるレーザーの光学的パラメータが影響を及ぼす。気相のブレイクダウンには、集光位置付近に存在する気体分子あるいは原子（以下、中性粒子とする）が同時に数個の光子を吸収することで多光子解離により電子を形成する「多光子吸収過程」と、電子が逆制動輻射によりレーザーエネルギーを吸収して加速されて周囲の中性粒子やイオンに衝突を繰り返すことによって電子が急増する「カスケード過程」の2つの過程が存在する^[3]。上記の多光子吸収過程とカスケード過程は、psからnsの時間で生じることが知られている（図2）。したがって、レーザーの時間プロファイルの半値幅（以下、パルス幅とする）は、

ブレイクダウンに影響を与えることが考えられる。貴研究所の平等准教授は、サブナノ秒のパルス幅可変（35 ps、50 ps、100 ps、200 ps）、波長532 nmのNd:YAGレーザーを使用して空気のブレイクダウン閾値の測定を行い、パルス幅の増加に伴ってブレイクダウン閾値が減少することを報告している^[4]。

本協力研究では、平等准教授とともに、レーザーのサブナノ秒のパルス幅が点火に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、貴研究所所有のパルス幅可変レーザーを用いてメタン-空気予混合気に対する点火試験を行った。図3に示した初期圧力と点火に必要な最小の入射光エネルギーの関係から、レーザーのパルス幅が200 ps以下の条件では、パルス幅は最小点火エネルギーには大きな影響を及ぼさないことがわかる。ここで、パルス幅の減少はレーザー強度の増加に結びつく。本協力研究の条件である200 psと35 psのパル

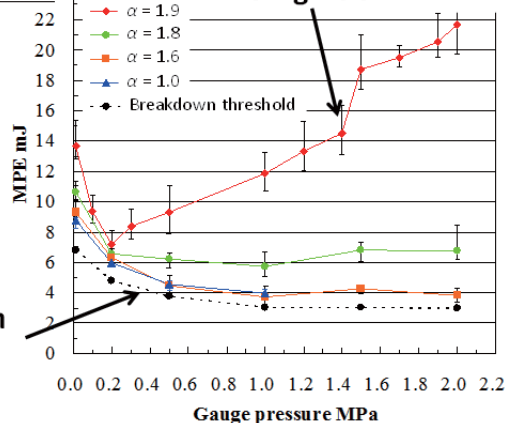
Methane-Air
Premixed MixtureBreakdown
thresholdMinimum Pulse Energy
for ignition

図1 Minimum pulse energy for ignition as a function of initial pressure (Methane/air premixed mixture, Nd:YAG, Wave length; 532 nm, Pulse Duration; 8 ns)

ス幅では、レーザー強度に5.7倍の相違が生じる。このように、レーザー強度に相違があるにも関わらず最小点火エネルギーが減少しないことから、点火を成功させるためにはレーザー強度だけでなく、火炎核が形成される時間

までプラズマを持続させる必要があることが明らかとなった。

貴研究所の協力研究は募集時期の自由度が高く、分子科学研究所における機器利用を含む実験および直接的なディスカッションによる研究推進が可

能である。協力研究の範囲で、実験を遂行できる日数を増やすことにより、加速的な研究の遂行が可能になると考えられる。

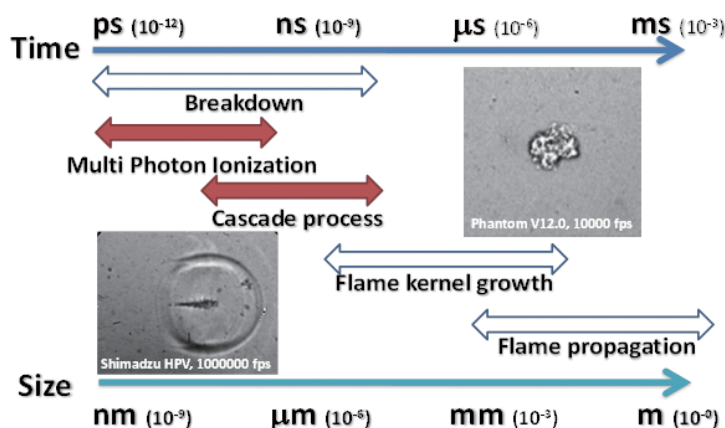


図2 Time and size scale of the laser induced breakdown and ignition

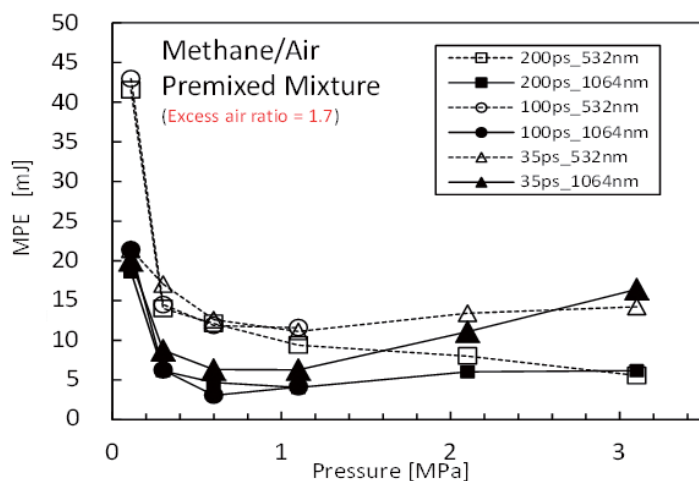


図3 Minimum pulse energy for ignition as a function of initial pressure (Methane/air premixed mixture, Excess air ratio; 1.7)

参考文献

- [1] Atsushi Nishiyama, Ahsa Moon, Yuji Ikeda, Jun Hayashi and Fumiteru Akamatsu, Ignition characteristics of methane/air premixed mixture by microwave-enhanced laser-induced breakdown plasma, Optical Express, 21-S6(2013), A1094-1101.
- [2] 古井憲治, 林 潤, 岡田朝貴, 中塚記章, 平等拓範, 堀 輝成, 赤松史光, メタン-空気予混合気に対するピコ秒レーザーのレーザー着火特性, 日本機械学会論文集B編, 79-795(2012), 2004-2014.
- [3] T. X. Phuoc, Laser-induced spark ignition fundamental and applications, Optics and Laser in Engineering, 44(2006), 351-397.
- [4] 平等拓範, 高輝度マイクロチップレーザとエンジン点火, レーザー研究, 38(2010), 576-584.



あかまつ・ふみてる

1991年 大阪大学大学院工学研究科 助手、1996年博士(工学)取得。1997年より1年間カリフォルニア大学アーバイン校客員研究員、2000年大阪大学大学院工学研究科講師、2003年同助教授、2008年より現職。専門は燃焼流に対する光学計測および数値解析、バイオマス燃焼など。



はやし・じゅん

2009年博士(工学)取得、同年 大阪大学大学院工学研究科 助教。2014年より現職。2014年9月より1年間Ecole Centrale Parisに招聘教授として滞在中。専門は混相燃焼場におけるすす計測およびプラズマ支援点火・燃焼など。