

乱流火炎制御のための制御要素の解明

林 光一，青山学院大学理工学部機械創造工学科

Robert K. Cheng, Lawrence Berkeley Laboratory

ガスタービンやボイラーにおける高効率燃焼，安定燃焼，低 NO_x 化，低 CO_x 化のために，まず用いられている火炎バーナーの燃焼制御の要素を明らかにすることが制御を容易にする近道である．本開放融合プロジェクトの 1 年目の前半において，水素 / 空気ならびにメタン / 空気の非予混合火炎バーナーを用いて，どのような要素が制御対象として重要なかを明らかにした．特に，乱流浮き上がり火炎の低 NO_x 性に注目し，浮き上がり火炎の安定化とその要素の解明を行った．制御要素としては，浮き上がり高さや火炎バーナーの形状が考えられ，解析方法と

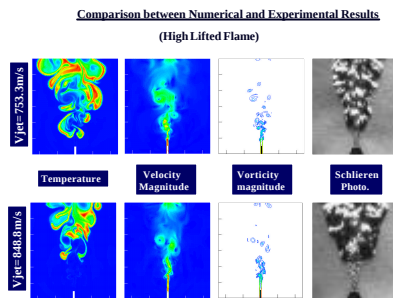


Fig.1 Comparison between Numerical Analysis and Experiments (Schlieren pictures)

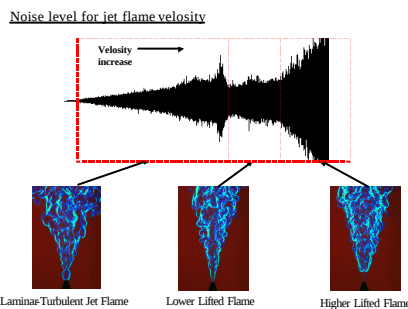
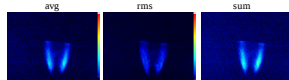


Fig.2 Noise levels for different flames

OH-PLIF Images for H_2 Non-Premixed Jet Flame:

Average, RMS, and Sum images

Image by LIF (Lift-off flame)
Re = 9132.42



Re = 10502.28

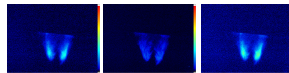


Fig.3 OH images of non-premixed turbulent lower lifted jet flame (Average, rms, and summation of OH profiles).

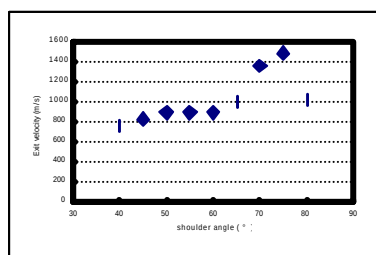


Fig.4 Lifted height transition points from lower to higher for jet flame velocities.

しては，数値解析，火炎のシュリーレン撮影，騒音測定，レーザー誘起蛍光法による可視化，そして高速度デジタルビデオ撮影が用意された．

Fig.1 は，水素 / 空気非予混合ジェット乱流火炎の数値解析と実験におけるシュリーレン写真の比較である．二次元の数値解析にも関わらず，二種類のジェット火炎の速度に対して，計算と実験の浮き上がり高さは良く一致していることが確かめられた．計算結果によると，水素ジェットの浮き上がり部における空気と水素の混合具合が浮き上がり高さを決定する重要な要因になっていることが確認された．

Fig.2 では，連続的に変化する水素非予混合ジェット火炎のバーナー出口におけるジェット速度に対して，どのようにノイズが変化するかを，マイクロフォンを使って調べられた．マイクロフォンのジェット火炎に対する位置は十分吟味された位置ではないが，結果を見ると，層流ジェット火炎から乱流ジェット火炎になるに従って，騒音レベルは上昇していくが，低い浮き上がり火炎の状態では騒音レベルが下がり，再び上昇することが結果から理解できる．これからも，低い浮き上がりジェット火炎の有用性が確認できる．図中の火炎の写真は，カラーシュリーレン写真であり，色の濃淡から密度勾配の強さの分布(火炎の位置など)がかなり確認できる．

Fig.3 は，Nd-Yag 並びに色素レーザーによる水素ジェット火炎の低い浮き上がり状態における OH 分布の写真である．OH ラジカルの局所詳細分布を十分に捉えていないので，ジェット火炎速度の違いによる浮き上がり部における OH 分布の違いははっきりと確認しがたいが，ジェット火炎の中心部と火炎基部は水素が燃えていないため，明るくないことが理解できる．とくにジェット火炎中心部は水素が着火しないで突き抜けている．上部の図は Re 数が約 9100 で，下部の結果は Re 数が約 10500 の場合である．また，上下の列を考えた場合，左から相加平均値，相乗平均値，総和の順である．相加平均と総和の場合の OH 分布が明るくははっきりしており，火炎の位置が十分確認できることが理解できた．

Fig.4 は低い安定した火炎から急に高い不安定な浮き上がりジェット火炎に遷移するときのジェット火炎のノズル出口での速度を縦軸に，二枚の二次元の板のような物を火炎近くに水平からある角度でおいた場合のジェット火炎の遷移速度における二枚の板の水平からの角度を横軸にした時の結果である．角度が 74 度ぐらいの時に遷移速度が約 1500m / s まで安定であることが理解できる．

このような計算と実験からの結果を元に，実機に対する一番良いバーナーの形状を見つけ出し，実機に装着してその性能を確認する予定である．また，制御要素の一つに浮き上がり部分での酸化剤との混合が重要な物理要素であることが確認されているので，その理由をもう少し基礎的な見地から探っていく予定でもある．レーザー誘起蛍光法と検知器による NO_x の測定も行われたが，この紙面では割愛する．