

二方向からの超音波による浮き上がり火炎の安定化

Stabilization of lifted flame with two direction ultrasonic waves

小山 真琴・廣田 光智(室蘭工業大学)・中村祐二(豊橋技術科学大学)・齋藤 務(室蘭工業大学)

Keywords : Ultrasonic wave , Combustion limit , Lifted jet flame , Impedance matching circuit

目的: 火炎に対する超音波の照射角度と火炎安定限界の改善との関係を調査した。



背景

浮き上がり火炎は超音波による燃焼制御方法で、吹き飛び限界値の拡大⁽¹⁾、輝炎の減少などの効果が確認されている。これを実燃焼器に適用するためには、大きい火炎に対する安定性について検証する必要がある。

特に、火炎領域が大きくなった場合にも音による安定効果が得られる工夫が必要である。

(1) 廣田, 橋本, 尾曾, 升谷, 日本機械学会論文誌B-74-748, 2008

実験装置及び方法

バーナ

- ①二重円形ノズルバーナ
- 内径: 10mm(メタン噴流)
- 外径: 20mm(空気噴流)

超音波燃焼制御装置

- ①ボルト締めランジュバン型振動子(BLT)(本多電子製, HEC-3020P2B)
- ②ファンクションジェネレータ(NF Corporation製, DF1906)
- ③駆動電源(NF Corporation製, HAS-4051)
- ④マッチングトランス(Impedance Matching Circuit)(本多電子製)

レーザ計測システム

- ①Nd:YAGレーザ(Lotis TII製, LS-2137; 10 Hz Pulse)
- ②パルスジェネレータ(SRS製, DG535)
- ③ICCDカメラ(浜松ホトニクス製, C7972-01G)
- ④バンドパスフィルタ(Schott製, BG-12)

2つの超音波の照射角度を変化させる

印加電圧を一定にした状態で二方向における超音波を用いて、照射角度 θ を変化させる。

- ・直径10mmの場合の安定限界計測
- ・アセトンPLIF法による噴流断面形状の調査

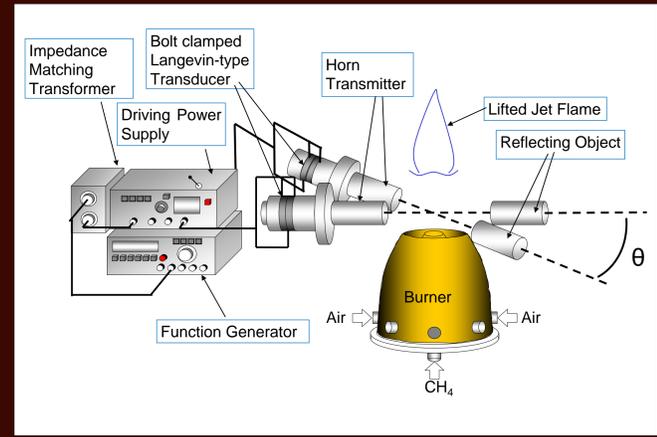
超音波の照射角度における変化に対して噴流はどれだけ変形しているのか

安定限界計測方法

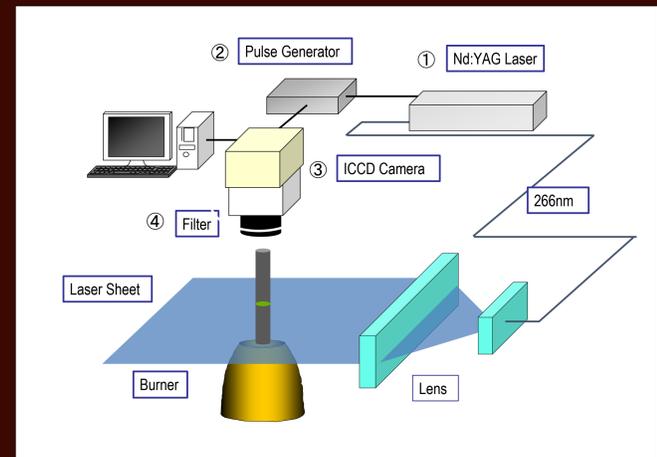
燃料流速 V_f を一定にし、空気流速 V_a を増加させた。火炎がバーナリムから吹き飛んだ時の空気流速を安定限界値とした。火炎に対する振動子の照射角度 θ を変えて、燃料流速変化による超音波効果の変化を調査するため、これらの安定限界を系統的に取得した。

アセトンPLIF法による噴流断面計測方法

①より、波長266nmのレーザ光を発振し、アセトンの励起光として使用することで、バーナ軸と垂直な噴流断面の可視化を行う。この方法を用いて、超音波照射角度 θ を変えたときの未燃噴流断面における変形度合いを計測した。



Experimental Setup

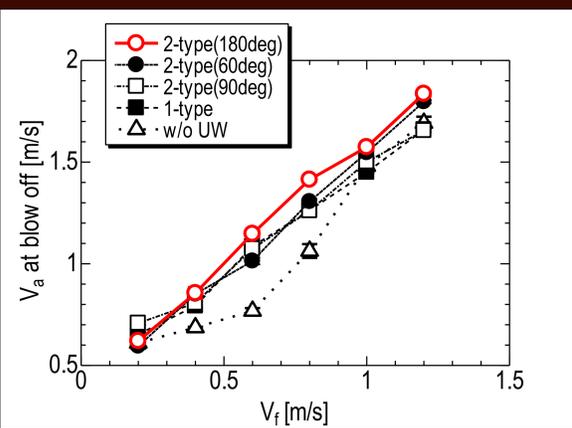


Schematic diagram of PLIF measurement system

実験結果

安定限界計測

一定の燃料流速に対して吹き飛び限界値が大きいほど改善される。

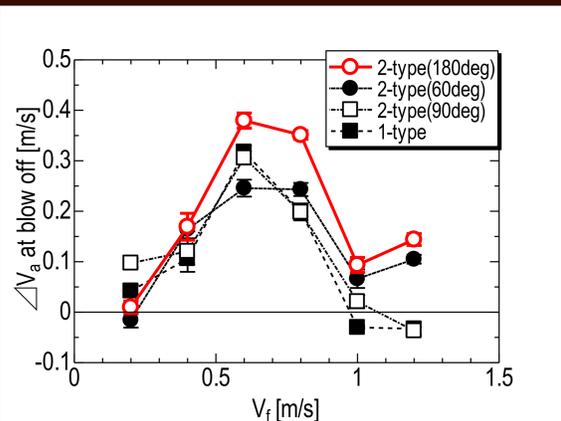


$V_f > 0.4$ m/sで超音波を照射しない場合と比較して、超音波を照射した場合の方が改善された。

超音波を照射しない場合との差を比較して改善度合いを調査

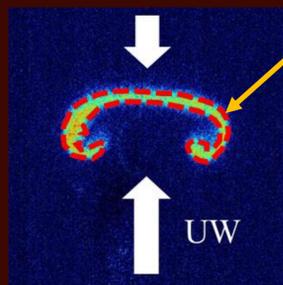
安定改善度

$\Delta V_a = (\text{各条件の限界値}) - (\text{超音波を照射しない場合の限界値})$



$V_f > 0.4$ m/sにおいて2系統で $\theta = 180^\circ$ の条件が最も改善された。

変形度の定義



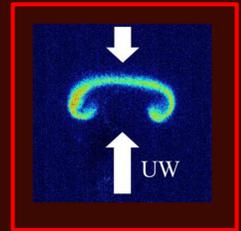
点線で囲まれた面積と周囲長で円形度1(真円)からどれだけ変形したかを評価する。

円形度 円の度合いを示すパラメータであり、1に近いほど真円に近いことを示す。

S: 噴流断面の面積
L: 噴流断面の周囲長

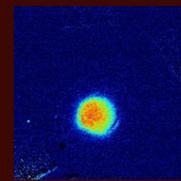
$$(\text{変形度}) = 1 - \frac{4\pi S}{L^2}$$

噴流断面

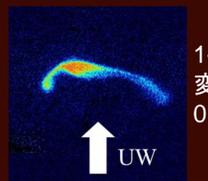


2-type (180deg) 変形度 0.79

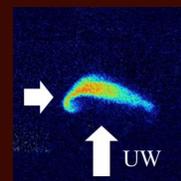
最も噴流に変形を及ぼした。



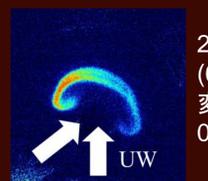
w/o UW 変形度 0



1-type 変形度 0.74

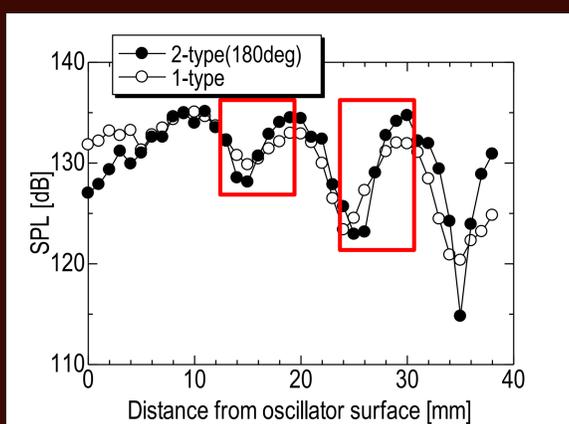


2-type (90deg) 変形度 0.65



2-type (60deg) 変形度 0.72

音圧分布からの考察



音響放射力 F_R の式

注目

$$F_R = V \frac{3(\rho_s - \rho_\infty) \rho_\infty}{2\rho_s + \rho_\infty} \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x}$$

ρ_s : 燃焼ガス密度, V : 燃焼ガス体積
 ρ_∞ : 周囲空気密度, $\frac{\rho_\infty}{2} \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x}$: 運動エネルギー

$\frac{\rho_\infty}{2} \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x}$ は定在音場の腹と節の丁度中間(節から1/8波長)で最も大きくなる。

腹と節における間の音圧が大きいほど放射力は大きくなる。

放射力が大きくなることで、変形度が増加し、燃料と酸化剤の混合が促進された。

田辺, 桑原, 藤森, 河野, 日本機械学会論文誌B-69-688, 2003

結論 2系統で対向させて照射した条件($\theta = 180^\circ$)が最も噴流が変形し、混合促進され、安定限界が改善されていることがわかった。