

浮き上がり火炎の保炎機構に関する数値解析

Numerical Analysis on Stabilization Mechanism of Lifted Flame

溝淵 泰寛、新城 淳史、立花 繁（航技研）

1. はじめに

高効率低環境負荷の燃焼形態を実現するためには火炎の保炎消炎機構を理解する必要がある。火炎の極限的な基本形態としては予混合火炎と拡散火炎があるが、実用的な火炎では燃料濃度に勾配があり、それらの間に位置する燃焼形態である場合が多い。そのような部分予混合火炎の典型として浮き上がり火炎が挙げられる。浮き上がり火炎中には過濃/希薄予混合火炎および拡散火炎が存在し、また消炎現象も深く関わる火炎であるので、その解析は実用的な燃焼器における保炎消炎機構の理解に大きく寄与するものと考えられる。航空宇宙技術研究所では水素/空気の噴流火炎の DNS により、浮き上がり火炎をとらえる事に成功した。ここでは短い観察時間(0.1msec)ではあるが非定常な燃焼場を観察することにより得られた結果について、Flame Index による火炎構造および火炎安定機構解析を中心に報告する。

2. Flame Index による火炎構造解析

火炎の構造解析は Flame Index [1] (以下 F.I.) を用いて行った。F.I.は次式で与えられる。

$$F.I. = \nabla Y_{H_2} \cdot \nabla Y_{O_2},$$

ここに Y_s は化学種 s の質量分率である。F.I. が正であれば火炎は予混合火炎、負であれば拡散火炎となる。解析にあたり、F.I.が正の場合すなわち予混合火炎の場合は局所的な混合分率に対応する一次元層流予混合火炎における F.I.で無次元化し、負の場合すなわち拡散火炎の場合は一次元対向流拡散火炎の消炎時の F.I.で無次元化した。この無次元 F.I.を以下 N.F.I.と記す。

図 1 はある瞬間における N.F.I.の断面分布である。N.F.I.が正の等値線は 0.4 から 10.0 まで 0.4 刻みで実線で、負の等値線は-0.02 から-0.1 まで 0.02 刻みで破線で描いている。太線は当量比 1 の等値線である。なお温度が 600K 未満の部分では N.F.I.=0 としている。浮き上がり火炎は一つの単純な火炎ではなく、1：安定な先端火炎、2：乱れの強い内側予混合火炎、3：内側予混合火炎の周りの島状拡散火炎からできてい

ることが分かる。

先端火炎は水素噴流の外側に位置しており、ほぼ層流の非常に安定な火炎である。図 1 中の拡大図に見られるように先端火炎は三重火炎に類似した構造を持っており、特に希薄側の予混合火炎において流れ場燃焼場とも極めて安定となっている。そこでは N.F.I.がおおよそ 1 でありこれは流体の速度と火炎速度がほぼ釣り合うことにより火炎が安定化されていることを示している。内側の予混合火炎はそれ自身非常に不安定な火炎であるが、この安定な先端火炎によって保持されている。また外側の島状拡散火炎は内側の予混合火炎が非定常に激しく動き当量比 1 の位置まで近づくことによって生成される。

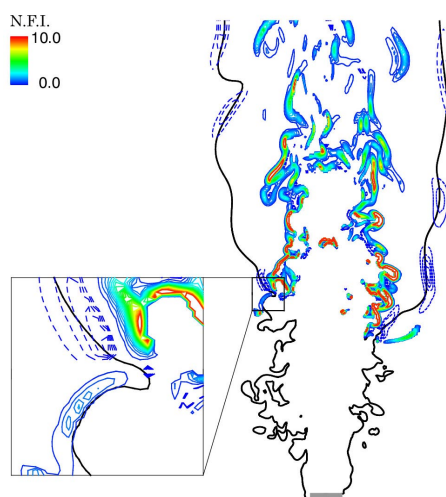


図 1：ある瞬間における N.F.I.の断面分布。実線：0.4 ≤ N.F.I. ≤ 10.0, δ = 0.4、破線：-0.1 ≤ N.F.I. ≤ -0.02, δ = 0.02。太線は当量比 1 の等値線。

3. まとめ

浮き上がり火炎 DNS の結果を Flame Index を用いて解析することにより、火炎の構造および保炎機構のおおよそが明らかになってきた。しかしながら浮き上がり火炎を構成する火炎それぞれは非定常で極めて三次元的な構造を持っており、詳細な火炎安定化機構の解明のためには、長時間にわたる三次元的な解析を今後進めていく必要があると考える。

参考文献

[1] Yamashita et al., Proc. 26th Symp. (Int.) on Combustion, pp.27-34, 1996.