

円形水素ジェット燃焼過程の数値計算（噴出角度の効果）

3D Computation of Combustion Phenomena of Circular Hydrogen Jet (Effect of Injection Angle)

南雲貴志, 東京理科大学大学院, 東京都新宿区神楽坂 1-3, E-mail: j4500701@ed.kagu.sut.ac.jp
 戸田和之, 東京理科大学, 東京都新宿区神楽坂 1-3, E-mail: ktoda@rs.kagu.sut.ac.jp
 山本 誠, 東京理科大学, 東京都新宿区神楽坂 1-3, E-mail: yamamoto@rs.kagu.sut.ac.jp
 Takashi Nagumo, Graduate School of Science University of Tokyo, 1-3 Kagurazaka Shinjuku-ku Tokyo
 Kazuyuki Toda, Dept. of Mechanical Engineering of Science University of Tokyo
 Makoto Yamamoto, Dept. of Mechanical Engineering of Science University of Tokyo

We have been investigating a new concept for an advanced propulsion system, in which hydrogen gas is directly injected from turbine blade surfaces and combusted within turbine blade passages. In the previous studies, we performed 2D computations for the flow field and found that the concept can be promising. However, the detail of the hydrogen combustion phenomena, especially around the injection hole, is not apparent because of the 2D computations. In the present study, the flow field with a circular hydrogen jet injected into the cross airflow is simulated. Furthermore, the effects of the jet angle on the combustion process are investigated numerically. It is shown that the combustion occurs even in front of the jet injector because of the recirculation around the injection hole, and as far as the injection angle is forced downstream to the mainflow, the flow field and combustion phenomena cannot be changed drastically.

1. 緒言

次世代航空機の推進システムに対して、著者らは水素を用いた新たなサイクル概念を提案した。本概念は、タービン翼表面から水素を噴出させ、翼間内で燃焼プロセスを行うことにより、燃焼室を必要としない航空機エンジンを実現しようという概念である。過去の研究⁽¹⁾において、2次元計算により本概念の実現性を明らかとしたが、水素噴出孔周における流れ場の3次元構造、更に、これらが燃焼過程に及ぼす詳細な効果は明らかとなっていない。

本研究では、空気流中への円形水素ジェットを伴う流れ場の3次元計算を実施し、ジェット噴出角度が燃焼過程に及ぼす効果を、数値的に明らかにすることを目的としている。

2. 数値計算

本研究で対象とする流れ場は、化学反応を伴う3次元乱流場である。円形水素ジェットと空気流の混合、燃焼における非定常性を、より正確に予測できるよう、時間平均流を対象とした乱流モデルは使用せず、擬似DNSの手法を採用する。支配方程式として、圧縮性 Navier-Stokes 方程式、更に燃焼反応に関する化学種の輸送方程式を用いる。多成分気体における輸送物性の算出は、分子運動論に基づいており、反応モデルに関しては、5段階簡略反応モデル(Chen et al., 1995)を採用している。また、流れと化学反応の特性時間の違いより生じる Stiffness を回避するために、化学反応項を陰的に、その他の項を陽的に扱う半陰解法を時間積分に適用している。空間微分に関しては、非粘性項に3次精度風上型 TVD スキーム(Chakravarthy-Osher, 1985)を、その他の項に2次精度中心差分を用いている。

3. 計算条件

主流空気の流入条件は、静温 900K、マッハ数 0.3、境界層厚さ 1.5mm である。水素の噴出方向を、壁面に対し迎角(Pitch angle)30deg、60deg、90deg、流入空気に対し旋回角(Skew angle)0deg、90deg、180deg とする計7ケースについて数値計算を実施した。また、全てのケースにおいて、静温 1000K の水素が、平板上に設置された孔直径 1.0mm の噴出孔より主流中へ噴出される。

4. 結果と考察

図 1(a), (b)は、主流に垂直な断面における瞬間温度分布の下流方向変化を示している。水素と空気の界面で、温度は最大 3100K 付近まで到達している。火炎は、ジェット噴出孔の前方においても確認できる。これは、噴出孔より噴出された水素が、主流境界層中の非常に運動量の小さい壁面付近にわたって拡がり、この領域で再循環領域を形成するためである。この再循環領域において、水素が循環するため、火炎の保炎効果が期待できる。なお、図 1(b)において、火炎の上部に消失が見られるが、これは着火遅れによるものと考えられる。

また、ジェットの下流に進むに従い、高温領域が拡大しているが、これは水素ジェットにより誘発された縦渦による効果が大きく、流れ場の複雑な3次元性が、水素と空気流の混合を促進していると確認できる。

今後の課題として、壁面温度の上昇を抑制できるような水素の噴出条件を検討しなければならない。

参考文献

- (1) 南雲, 戸田, 山本, "タービン翼列間における水素燃焼流の数値計算" 日本機械学会論文集B編, 67巻659号 (2001. 7), pp. 64-71.

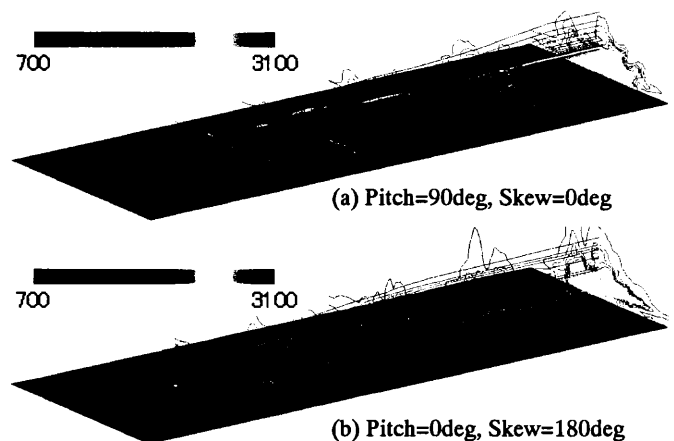


Fig. 1 Instantaneous static temperature distributions on the cross-sectional plane