

K-4

ロケット燃焼器での窒素パージによる酸素供給量の変化が圧力波の形成に与える影響

Influence of oxygen supply change due to nitrogen purge on pressure wave formation in rocket combustor

○萩谷春太<sup>1</sup>, 木戸海聖<sup>1</sup>, 和泉京助<sup>2</sup>, 伊藤遥輝<sup>2</sup>, 齊藤允教<sup>3</sup>, 田辺光昭<sup>3</sup>

Shunta Hagiya<sup>1</sup>, Kaisei Kido<sup>1</sup>, Kyosuke Izumi<sup>2</sup>, Haruki Ito<sup>2</sup>, Masanori Saito<sup>3</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>3</sup>

Influence of nitrogen purge on pressure wave formation in rocket combustor is investigated using numerical simulation. At a specific mass fraction of oxidizer supply, pressure oscillation increased. Furthermore, it was suggested that flame lift-off induced spontaneous ignition may form pressure wave.

近年、実用化が進んでいる再使用ロケットでは、推力制御や、点火、停止等の過渡現象の解明が求められる。点火時には圧力スパイク等が燃焼器に負荷を与えるが、負荷が予測の範囲内でも停止時の損傷の有無でその影響は変化する。Vulcain エンジンでは燃焼停止時のパージに伴う燃焼振動が確認されている。<sup>[1]</sup>停止時には、供給系と練成した振動が起り、燃焼器を破壊することもある。よって、停止時に圧力変動を引き起こす圧力波の発生機構を明らかにする必要がある。

本研究では、数値シミュレーションを用いて、単一同軸噴射型ロケット燃焼器での窒素ガスによるパージの瞬間を模擬したステップ的な酸化剤組成の変化が圧力波の形成に与える影響を議論する。計算条件として燃焼室の直径は 22 mm, 燃焼室の長さは 300 mm, ノズルスロート直径は, 6.2 mm とした。燃料にはメタンを用い質量流量は  $1.19 \times 10^{-3}$  kg/s, 窒素が加わる前の混合比は 3.3 とした。パージガスは窒素を使用し, 酸素に対する質量分率を 0.34 とした。酸素と窒素の合計の質量流量は  $3.93 \times 10^{-3}$  kg/s とした。

高振幅の圧力振動を示したケースのダンプ面近傍の圧力と燃焼室内の平均温度の時間履歴を図 1 に示す。酸化剤の質量分率を  $O_2 : N_2 = 0.66 : 0.34$  とした時刻を 0ms とし, それ以前では酸化剤は酸素のみである。図 1 より, 0 ms 付近での圧力の振動は 6 ms 付近で減衰し 7ms 付近から増幅していく様子が確認され, 燃焼室の温度は投入前よりも低下した。図 2 に, 増幅が確認された 7 ms 付近における発熱率の分布を赤で, 圧力を青で示す。6.73 ms では, 火炎が緑で示すダンプ面から浮きあがる様子が確認された。メタンでは窒素の混合や当量比が過濃の場合に燃焼速度が低下する。<sup>[2]</sup>そのためこの影響で火炎が浮き上がった可能性がある。同時に火炎面が

半径方向に変形し発熱が弱まる様子が確認された。この時の半径方向速度が影響した可能性がある。このとき上流側で大きな渦が発生するとともに火炎が変形し, 7.40 ms では火炎が大きな曲率を持ち, 部分的に火炎面同士が接近した。7.41 ms では火炎面同士が接近した箇所の近傍で, 強い発熱と同時に局所的な圧力の変動が確認された。よって自発点火が発生した可能性が考えられる。局所的な圧力変動は周囲に伝播し, この現象が圧力波を形成する可能性を議論した。

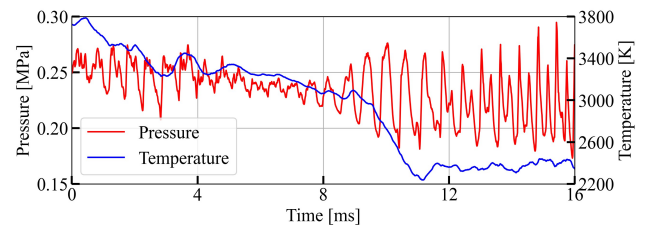


Figure 1. Time history of pressure near the dump plane and static temperature average in combustion chamber

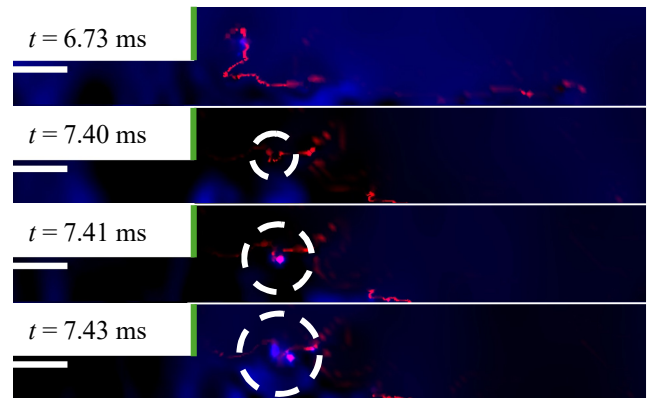


Figure 2. Snapshots of heat release rate (red) and absolute pressure (blue) near the dump plane

参考文献

- [1] Ordonneau et al. "Analysis and modeling of Vulcain engine shutdown transient chugging", 1<sup>er</sup> Colloque Européen sur la Technologie des Lanceurs 1999
- [2] Miao et al. "Measuring the laminar burning velocity and Markstein length of premixed methane/nitrogen/air mixtures with the consideration of nonlinear stretch effects" Fuel, V121, pp208-215, 2014

1 : 日大理工・学部・航宇, 2 : 日大理工・院 (前)・航宇, 3 : 日大理工・教員・航宇