

ロケットエンジンの燃料ミキサー特性に及ぼすミキサー形状の影響について

Effects of Configurations of a Mixer in a Rocket Engine upon Its Downstream Flow Field

総合技術研究本部 ロケットエンジン技術センター 技術研究ユニット 燃焼器・ノズルチーム

小野寺 卓郎、坂本 博、高橋 守、佐々木 正樹、田村 洋

総合技術研究本部 ロケットエンジン技術センター 技術研究ユニット エンジンシステムチーム

木村 俊哉

宇宙基幹システム本部 宇宙輸送システム技術部

谷口 浩文

ISTA, Rocket Engine Technology Center, Research Unit, Combustor and Nozzle Team

Takuo Onodera, Hiroshi Sakamoto, Mamoru Takahashi, Masaki Sasaki, Hiroshi Tamura

ISTA, Rocket Engine Technology Center, Research Unit, Rocket Engine System Team

Toshiya Kimura

Office of Space Flight and Operation, Space Transportation Systems Engineering Department

Hirofumi Taniguchi

## Abstract

Effects of liquid hydrogen mixer configurations on its downstream flow field were investigated. Cryogenic tests with different mixer configurations of eight patterns and CFD analysis were conducted. It was found that mixer configurations have strong effects on low-frequency pressure fluctuation levels at downstream positions and that these pressure fluctuations are strongly related to acoustic oscillations in the hydrogen tube end of the mixer.

## 1. はじめに

LE-5Bのようなエキスパンダーブリードサイクルエンジンでは、燃料である液体水素の一部を用いて燃焼器ないしノズルの一部を冷却した後に残りの液体水素と混合して噴射器に供給される場合がある。この混合を行うミキサー部では極低温の液体水素と高温のガス水素が混合して、超臨界圧状態とはいえ、流動変動や圧力振動など混合に伴う密度変動により2相流的な挙動が生じることが知られている。改良型LE-5Bエンジンでは白色雑音的な低周波の燃焼圧振動の増大と同一作動条件下におけるエンジン作動点の変動という現象が発生したが、これは超臨界圧環境における高温水素と極低温水素との混合過程にその一因があると推定された。ミキサーの形状がこの混合過程に支配的であると考えられたことから、8種類の形状のミキサーを製作して実液による試験を実施し、ミキサー形状の違いがミキサー下流の流れ場に与える影響を評価した。また、試験から得られる情報は限られることから、流れ場の詳細を把握するためにCFD解析を併せて実施した。

## 2. 研究の概要

ミキサーは、実機と同様に90度に曲がる極低温水素の配管の曲がり部に垂直に高温水素を吹き込む形式のものと、極低温配管を直管としてこの管に垂直に高温水素を吹き込む形式の2種を用いた。また、高温水素と極低温水素の混合部の直上流に設けた液体水素オリフィスと高温水素の噴射管については、それぞれ2種類の形状を用意し、これらの全てを組み合わせ得られる8通りの形状について試験を実施し、超臨界圧の作動環境における各部の圧力および壁面温度を計測した。ミキサー形状が下流の流れ場構造に与える影響を、高温水素と極低温水素との混合の度合いや壁面圧力の変動成分等を指標として、評価した。また、各試験条件に合わせたCFD解析を通してデータの評価も実施した。Fig.1に試験設備に取り付けられた状態の供試体を、Fig.2に試験した供試体の一形態の模式図を示した。Fig.2には、温度および圧力の計測点も示している。

### 3. 成果の概要

試験および CFD 解析から以下のことが明らかになった。

- (1) ミキサー下流での水素の均一化(壁温分布を指標として評価)に対するミキサー形状の影響については、上流オリフィスの形状が支配的である。
- (2) 直管型のミキサーにおいては、高温水素噴射管の背後に生じる渦が混合過程に影響を与える。
- (3) ミキサー下流における圧力振動レベルに対するミキサー形状の影響は大きく、最大で約2倍の差がある(Fig.3)。
- (4) 振動の発生機構については、ミキサー管内における低周波域の圧力振動と高温水素噴射管内で発生する音響振動との間に強い相関がある(Fig.3)。
- (5) Fig.4 に一例としてミキサー下流の各断面(図中で D は配管内径を表す)における等温度線を示す。各ケースの CFD 解析による定常的な圧力や温度の分布は試験結果を概ね良く再現できた。また、高温水素噴射管内に発生する渦を伴う流れ構造とミキサー管内の圧力振動との間に相関があることが数値解析の結果から示唆された。

### 4. まとめ

本研究の成果は改良型 LE-5B エンジンに反映され、技術試験において燃焼室圧力振動の低減に効果があることが実証された。

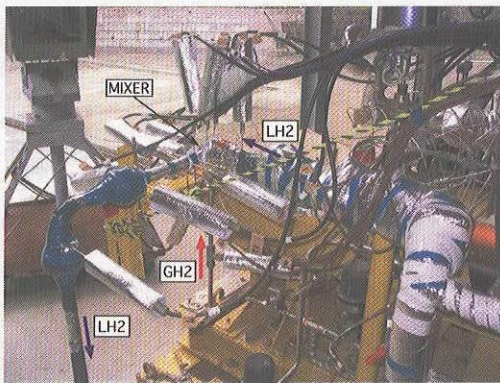


Fig.1 Model Mixer on Test Stand (elbowed type)

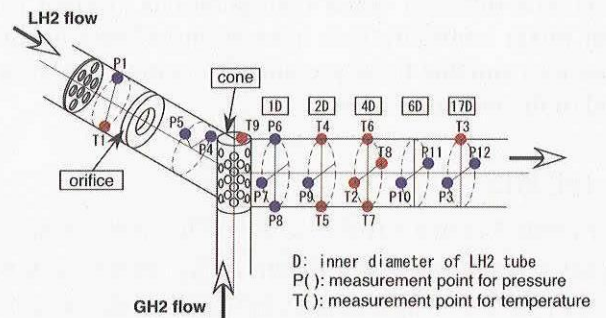


Fig.2 Schematic of Mixer (elbowed type)

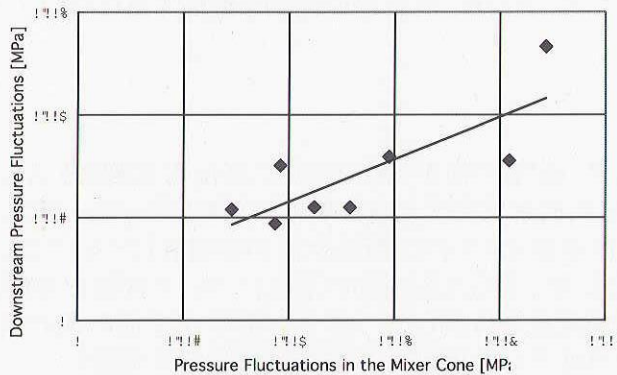


Fig.3 Correlation Between Pressure Fluctuations in the Cone and in 17D Plane

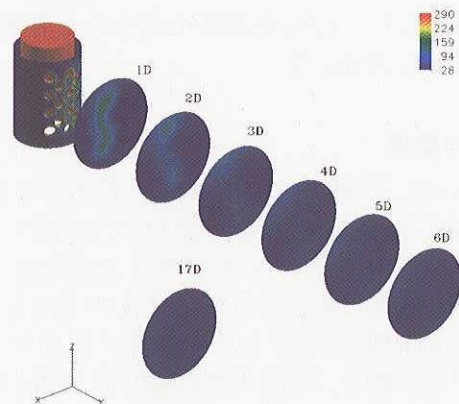


Fig.4 Temperature Contours of Flow Field Downstream the Mixer