

## ■ はじめに

JAXA(宇宙航空研究開発機構)は、2020年の新型基幹ロケット初号機打ち上げを目指し、その開発に着手した。新型基幹ロケットの開発では、従来ロケットよりも更なる高信頼化、開発期間短縮、低コスト化が求められており、過去の経験則や多数の試験に基づく従来の設計開発手法を打破し、近年その進歩が著しい数値シミュレーション技術を活用した新しい設計開発手法(「高信頼性開発プロセス」と呼ぶ)が適用される。そこでは、設計開発の初期段階から網羅的にリスクの抽出と不具合事象の把握を行い、数値シミュレーション技術によりそれらを定量評価してリスク低減を図ることで、設計の手戻りを防ぎ、高信頼化、開発期間短縮、低コスト化を実現する。

JAXAでは、新型基幹ロケット開発に先立ち、高信頼性開発プロセスの構築とそれに必要な数値シミュレーション技術の開発を目的として、2007年からLE-Xエンジン技術実証プロジェクトを進めてきた。LE-Xエンジンは、液体水素を燃料、液体酸素を酸化剤とする推力100トン級の液体ロケットエンジンであり、新型基幹ロケットに採用される1段および2段エンジンのプロトタイプエンジンである。数値シミュレーション技術については、LE-Xエンジンの重要故障リスクを定量的に予測可能な技術開発を進めてきた。本講演では、そのうち特にLE-Xエンジンの最重要リスクと位置付けられている燃焼室に関連して、世界的にも先進的な取り組みとなっている燃焼安定性評価技術と燃焼室寿命予測技術を紹介する。

## ■ 活動内容

### 1. 燃焼安定性評価技術

液体ロケット燃焼室の設計開発における最重要リスクの一つに燃焼振動がある。燃焼室では、燃料と酸化剤を10MPaを超える高圧下の乱流状態で燃焼させる。そのため燃焼ノイズとして小さな圧力変動が存在し、その振幅が燃焼圧の数%を超えるようになると燃焼室の破損に直結する。JAXAでは、燃焼振動の発生メカニズム解明と燃焼安定性の定量予測を目的として、振動源となる燃焼状態の再現、燃焼室内の音響特性の予測、燃焼安定性の定量評価を可能とする数値シミュレーション技術の開発を進めている。図1はLarge Eddy Simulation (LES)によるサブスケール燃焼室の非定常燃焼場の解析例であり、振幅の定量性に改良の余地があるものの、燃焼室内の圧力変動を再現することに成功した。

### 2. 燃焼室寿命予測技術

液体ロケットエンジンの燃焼室内部は、10MPa、3000Kを超える高圧・高温の燃焼ガスと、燃焼室構造体を冷却するための冷却流路を流れる高圧・極低温の冷却剤(LE-Xでは水素)が僅か数mmの壁を介して共存するという極限環境となっている。従って、燃焼室はエンジン構成部品の中で最も熱・構造的な負荷が高く、その寿命はエンジン成立性を左右する。高信頼性開発プロセスでは、設計段階で燃焼室の破損モードや破損メカニズムを把握し、エンジン寿命を定量的に予測することが求められている。そこでJAXAでは、燃焼室寿命の定量予測を実現することを目的に、燃焼ガスや冷却剤流れの熱流動と構造を通じた伝熱、更にはそれらに伴う構造変形を考慮可能なマルチフィジクスの流体-熱-構造連成シミュレーション技術の開発を進めている。図2は解析結果に基づき評価したクリープ疲労に伴う累積損傷度の分布であり、実際の試験で発生したクラック発生位置を再現することに成功した。

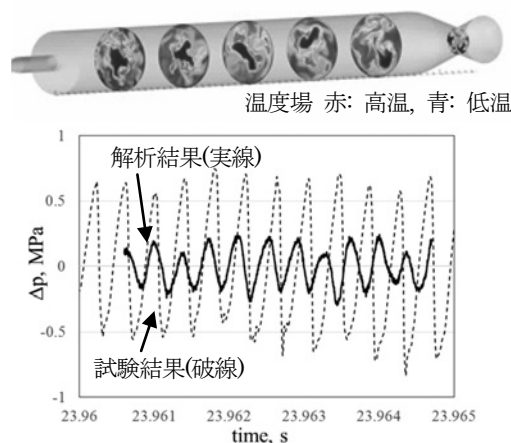


図1 サブスケール燃焼室内の温度場(上)と変動圧履歴(下)

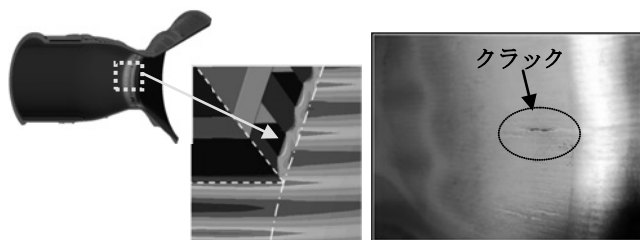


図2 実燃焼室内で発生したクラック発生の予測;  
左: 解析結果, 右: 試験結果

代表発表者 **根岸 秀世 (ねぎし ひでよ)**  
 所属 **(独)宇宙航空研究開発機構  
 研究開発本部 情報・計算工学センター**  
 問合せ先 〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1  
 TEL: 050-3362-3927 FAX: 029-868-2987  
 negishi.hideyo@jaxa.jp

■キーワード: (1)ロケットエンジン  
 (2)数値シミュレーション