

H - A ロケット 6 号機 打上げ失敗の
原因究明状況について（その 7）

平成 16 年 2 月 5 日
宇宙航空研究開発機構

目次

1. 表面後退量増大現象の検討	…	1
1.1 表面後退率の感度解析		
1.2 サブサイズモータ燃焼試験結果の評価		
1.3 層間剥離の評価		
1.4 表面後退量増大現象の評価		
1.5 今後の試験計画		
2. 設計等の改善の考え方	…	7

1. 表面後退量増大現象の検討

想定を超えた表面後退量増大の要因検討として以下の解析および試験を実施し、表面後退量増大現象の評価を実施した。

表面後退率の感度解析

サブサイズモータ燃焼試験(その1)

層間剥離の評価

1.1 表面後退率の感度解析

表面後退率に影響する要因に対し、以下の感度解析を実施した。

(図1.1-1)

解析にあたっては、宇宙開発委員会専門家会合の提言を受けて実施した旧3機関連携による研究の成果および知見を活用し、発展させて行った。

現物観察に基いて推定された局所エロージョンの直接原因と誘因について、材料特性と燃焼流特性の観点から表面後退率の影響因子の変動量の評価する。

機械的侵食および化学的腐食による表面後退率の評価方法の設定と検証

材料特性と気流特性の各影響因子の変動に対する表面後退率の変動量の評価とそれらの和としての総表面後退率の変化量の評価

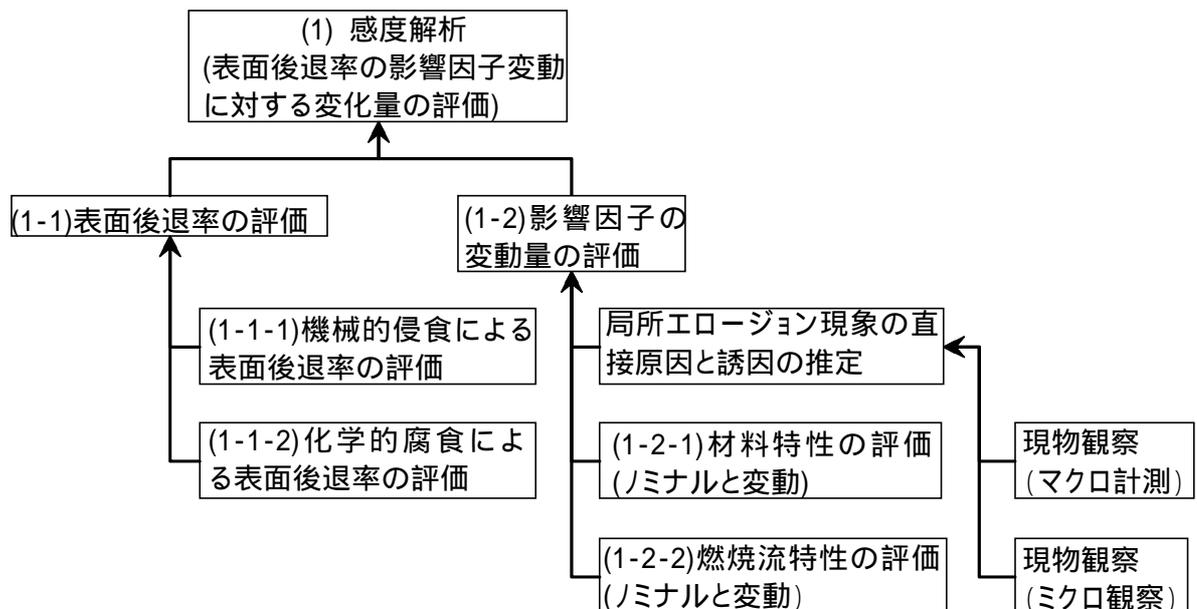


図1.1-1 表面後退率の感度解析の流れ

【結果】

感度解析による平均的な表面後退現象および局所的な表面後退現象の表面後退率は試験結果と同等の結果を得た。

また、局所的な表面後退現象を加速する要因として、深い溝形成により燃焼ガスが流入し渦が形成されることで表面後退量を増加させる可能性が見出された。

1.2 サブサイズモータ燃焼試験(その1)結果の評価

表面後退率増大の要因として考えられる下記要因の影響を確認するため、サブサイズモータ(1/5サイズ)燃焼試験(その1)を実施した。

ノズルスロット上流部の形状不均一(凹凸)から生ずる燃焼ガス流れの擾乱(渦)が招く加熱率の増大によるライナアフトB2表面後退率の増大

ライナアフトB2前端付近の段差から生ずる加熱率増大が招く表面後退率の増大

【結果】

ライナアフトB2前端部付近の段差は、QM3の局所エロージョンにまで進展する要因となり得ることを確認し、燃焼圧力の増加は、表面後退率の平均およびばらつきを増大させる要因であることを確認した。

また、試験後のノズル内面の表面観察において、ライナアフトB2前端部にCFRP積層方向と平行な面の露出が確認され、燃焼中にCFRPの平行加熱発生の可能性が示唆されることがわかった。

1.3 層間剥離の評価

層間剥離評価試験の結果及びSRB-A開発時の燃焼試験データの整理に基づき、ライナアフトB2 CFRP材の加熱時における層間剥離に関する評価を行った。

(1) ライナアフトB2 CFRP材の層間剥離の特性について

層間剥離評価試験の結果から、加熱面と積層面のなす角度が小さく加熱面の幅が大きい場合、加熱により層間剥離を起こし、積層面が浮き上がる現象が発生することが確認されている。

(2) 実機大モータ燃焼試験後ノズルの角度調査

QM3の燃焼試験後の表面後退量分布データから、加熱面と積層面のなす角度が小さい箇所が確認され、燃焼中に平行加熱面が発生している可能性が考えられる。

(3) 層間剥離に起因する表面後退率見積もり

QM燃焼試験では、ライナアフトB2相当部品的前端部が脱落し、平行加熱面が発生して層間剥離により、表面後退量が増大したと推定している。

この表面後退率は、平均的な表面後退現象に比べ大きくなることが考えられる。

1.4 表面後退量増大現象の評価

上記の試験および解析の結果から、想定を超えた表面後退量増大には以下の現象が発生していると考えられる。

平均的な表面後退現象(ステップエロージョン)

局所的な表面後退現象(局所エロージョン)

局所エロージョンを加速する現象

1.4.1 平均的な表面後退現象(ステップエロージョン)の評価

スロートインサート(C/C)に比べライナアフターB2(CFRP)の表面後退率は大きい。ライナアフターB2前端部には燃焼初期に軸対称の段差が生じ、下流の加熱率が高くなることで表面後退が主に下流側へ深く進行していく。

1.4.2 局所的な表面後退現象(局所エロージョン)の評価

推進薬の光芒の影響により燃焼ガス流れには縦渦が形成され、下流に表面後退率の高いスポットが形成され3次元的な溝が形成される。

溝内部に流れが流入し、動圧及び熱負荷が高くなり、局所的な表面後退が進行することが考えられる。

1.4.3 局所エロージョンを加速する現象の検討

上記の平均的な表面後退現象および局所的な表面後退現象では、6号機で発生した事象を説明できないため、何らかの局所エロージョンを加速する要因が重畳したことが考えられる。この要因として、以下が考えられる。

積層面が浮き上がる現象(プライリフト現象)の影響

溝内部に流入する渦流れの影響

1.5 今後の試験計画

表面後退量増大の要因分析、対策案の検討に資するため、サブサイズモータ(1/5スケール)および実機大モータによる燃焼試験を実施する計画である。

(1) サブサイズモータ(1/5スケール)燃焼試験

【目的】

ライナアフトB2前端部の段差および光芒の影響により発生するノズル内面の縦溝形状が表面後退率に与える影響を評価するため、溝の有無および溝深さをパラメータとしてサブサイズモータ燃焼試験を行い、表面後退率データを取得する。

【試験条件・方法】

図1.5-1に示すように、サブサイズモータ(1/5スケール)ノズル内面のライナアフトB2前端部に段差および縦溝を加工して燃焼試験を行う。

【試験実施時期および場所】

実施時期：平成16年2月10日(予定)

実施場所：(株)IHIEアロスペース 武豊試験場(愛知県知多郡武豊町)

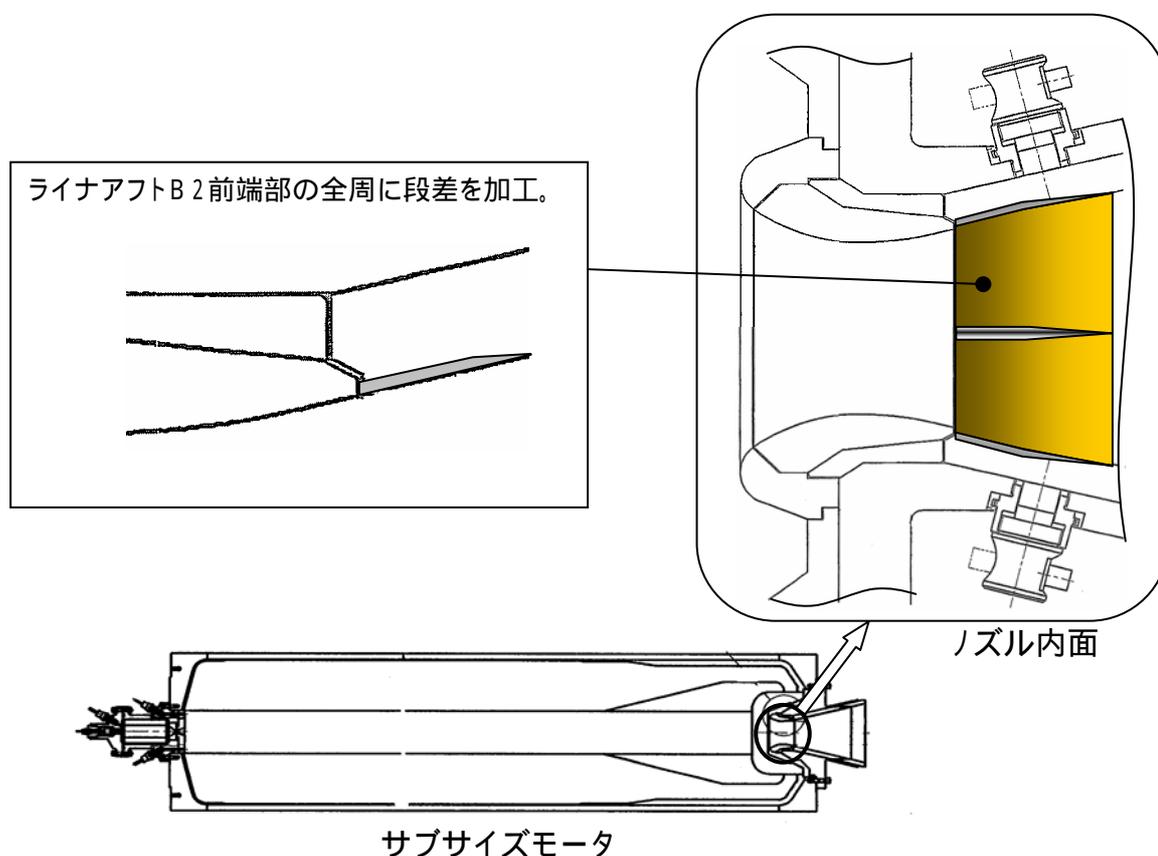


図1.5-1 サブサイズモータ(1/5スケール)燃焼試験計画概要

(2) SRB - A実機大モータ データ取得試験

【目的】

表面後退現象に関する実機大モータの技術データ取得を目的として、実機大モータによる地上燃焼試験を実施する。

【主要な取得データ】

アブレーション(熱分解)層進展時間履歴データ取得。
試験後にはノズル全周の表面後退量データを取得。

【試験実施時期および場所】

実施時期：平成16年2月18日(予定)

実施場所：宇宙航空研究開発機構 種子島宇宙センター

【安全対策】

試験実施に際しては、今回の想定事象(ノズルからの燃焼ガスの漏れ)を鑑み、モータ及び地上設備の安全性および確実なデータ取得の為、供試体への熱的防護を行う。

2. 設計等の改善の考え方

想定を超えた表面後退量の増大を引き起こした要因については、これまでの設計経緯等の整理、試験および解析の結果から以下の事項について対処する必要があると考えられる。

- 化学的、熱・機械的要因等の重畳による局所エロージョン増大
本事項に関しては、以下の現象が重畳したと考えられる。
平均的な表面後退現象(ステップエロージョン)
局所的な表面後退現象(局所エロージョン)
局所エロージョンをさらに加速させる現象
- ライナアフトB2前端部付近などの欠け・剥離
本事項に関しては、設計及び製造記録を再確認した結果、可能性は低いと考えられるが、信頼性向上のために製造・検査を改善する。

上記の事項に対処するため、今後実施する試験等の結果を踏まえ設計等を改善する。