

# STCP-2012-013 イプシロンロケット上段モータの推進薬に対する 非破壊検査計画\*

佐藤英一 (ISAS/JAXA)  
山口洋幸, 佐藤明良, 湊将志 (IHI エアロスペース)

Non-Destructive Inspection Plan for Solid Propellant of Upper Stage Motors of Epsilon  
Eiichi Sato (ISAS/JAXA)  
Hiroyuki Yamaguchi, Akiyoshi Sato, Masashi Minato (IHI Aerospace)

Key Words: Epsilon, Solid Rocket Motor, Propellant, Non-destructive Inspection

## Abstract

In the Epsilon rocket program, we are planning to replace the quality assurance procedure of solid propellant of the upper-stage motors from the conventional radiographic test (RT) now being applied to SRB-A to the ultrasonic testing (UT) now being under developing. We have already developed ultrasonic inspection technique for sounding rockets S-310 and S-520, and have achieved the reduction in the inspection time and the increase in reliability. Because of the spherical shape of the upper-stage motors, we should adopt the pulse echo technique, which requires larger path length of 1740 mm; it is one order larger than that for S-520. An inspection method with good SN ratio in such a long path length is now under developing

## 1. 序論

イプシロンロケットでは、上段モータ推進薬の品質保証として、SRB-A で採用している放射線検査 (RT) から、超音波検査 (UT) へ移行していく方針である。

固体ロケットモータの最終的な製品検査としては、日本国内をはじめ諸外国でも主に放射線検査による製品確認を実施している。しかしながら、放射線検査には、放射線遮蔽建屋の初期投資及び維持費用、放射線管理区域での作業、膨大な撮影枚数など、固体モータの低コスト化を阻む数多くの要因が存在する。固体推進薬は、超音波の高減衰材料であり、これまで我々以外に超音波検査の適用は報告されていない。そのなかで我々は、超音波検査を M-V ロケットに適用したほか、観測ロケット S-310/S-520 に対して、非接触透過法低周波超音波探傷による検査システムを開発し、検査時間短縮と信頼性向上を達成した<sup>1)</sup>。

イプシロンロケット上段モータの推進薬に対する超音波検査は初号機時点では確立されたものでないため、初号機に対しては品質保証として放射線検査を実施するが、2号機以降は超音波検査へ移行する予

定であることから、初号機において超音波検査の実機適用性確認の位置付けで、初号機に対しても超音波検査を実施する。

本稿では、適用を計画している非破壊検査手法とその開発状況について報告する。

## 2. 非破壊検査手法

### 2.1 適用方法

想定される適用方法は、図 1 に示す方法が考えられる。上段モータは、その形状から外側からアクセスできない部分の割合が大きいため、基本的に推進薬内面からの反射法とするが、制約条件がある場合は透過法①～③の適用も考える。小型のロケットモータである観測ロケットでは、推進薬中の超音波の路程が短いため、図 1③の送受信とも非接触の形態での検査が可能となった<sup>1)</sup>が、イプシロンロケット上段モータでは、必要な路程が約 1000mm と観測ロケットモータと比較し約 10 倍になる。固体推進薬は、超音波の高い音響減衰材料であるため、入力信号をより高出力にする必要があり、透過法においては①及び②の手法を基本に開発を行っている。

\* 本講演は第 56 回宇宙科学技術連合講演会 (2012 年 11 月、別府) にて発表したものである

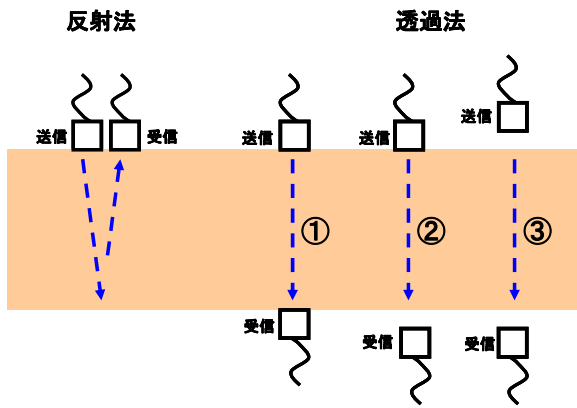


図1 超音波検査の適用方法

## 2.2 反射法による探傷

反射法においては、長路程での超音波強度の確保が最大の課題であったが、探触子への印加電圧の高電圧化（高電圧パルサ・レシーバの開発）、低周波側の超音波パルス採用、推進薬入力部での低損失化等により、必要な超音波の透過強度を得ることに成功している。<sup>2)</sup> 反射法の検出能力評価試験の一例を以下に示す。

図2に示すように疑似推進薬試験片に平底穴①～③を加工して人工欠陥とした。この試験片に前述の高電圧化及び低周波の探触子を適用し、検出能力の評価試験を行った。試験方法は、送受信の探触子を内孔面へ機軸方向に近接した配置とした。

平底穴①～③からの反射エコーを図3に示す。結果、全ての平底穴において、反射エコーを検出することができた。S/Nは見かけ上1～2という結果であったが、用いた試験片には、平底穴以外に球状および円柱上の人工欠陥が挿入してあるためこれらのエコーがノイズとなっていることも考えられる。今後とも引き続きS/N向上の可能性について検討を進める。

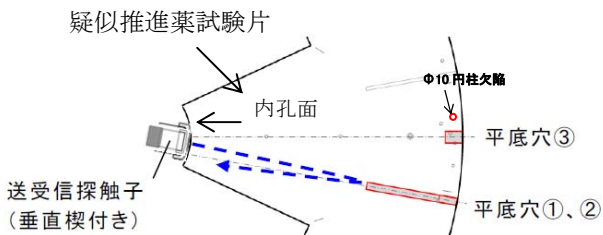


図2 平底穴試験片

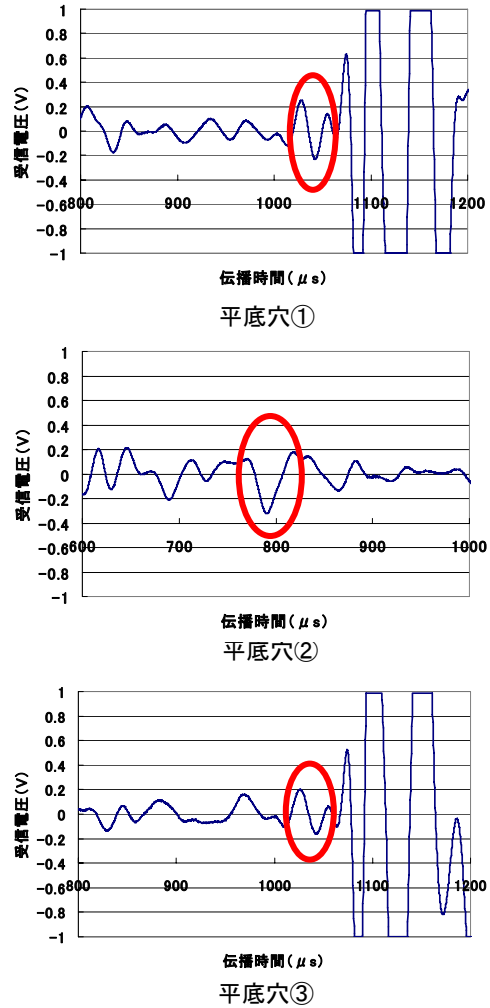


図3 人工欠陥からの反射エコー

## 2.3 透過法による探傷

2.2において、反射法では路程が長いところでは十分な検出能力が得られていない。そのため、モータ外表面については、透過法を併用し欠陥の検出を行う。検出能力の評価試験の一例を以下に示す。

図2のφ10円柱欠陥について、内孔面に送信探触子を、外面に受信探触子を配置し、外面の受信探触子を面に沿って走査させた際の透過波の信号強度を取得した。走査位置における透過波の信号強度のピーク電圧を図4に示す。φ10mm円柱状欠陥の背面に相当する-5mm～+5mmの範囲での信号強度が低下していることが分かる。

以上より、外表面近傍の欠陥の情報は比較的精度良く検出できる可能性が示された。現在、異なる位置及び形状の欠陥についても検出能力の評価を進めている。

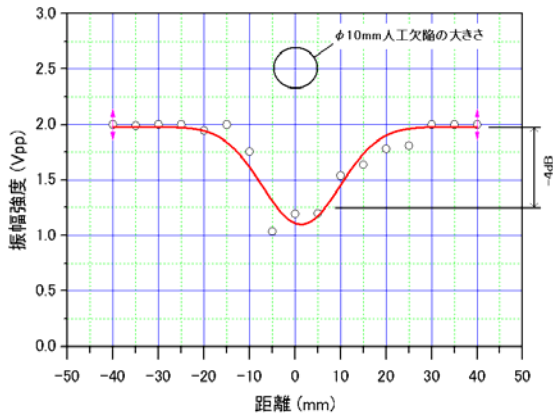


図4 走査位置における振幅強度の変化

#### 2.4 検査作業の効率化～アレイプローブの開発～

観測ロケット S-310/S-520 では1対の送信探触子、受信探触子を外面及び内孔に沿って走査させ、自動探傷を実現している。しかしながらイプシロンロケットは推進薬形状が異なるため、同様の手法を適用できない。1対の送受信探触子を手動で走査させると膨大な検査時間がかかってしまうため、受信センサを複数配置したアレイプローブの開発・製作を進め検査作業の効率化を図る。

図5に示すのが狭空間アレイプローブであり、モータケースの継手部近傍などの狭い領域に受信センサを配置する場合に用いる。フレキシブル基板上にセンサを配置しているため、モータ外表面の曲面形状への追従が可能である。

図6に示すのが広域アレイプローブであり、モータケースのシリンダー部又はドーム部など比較的面積が広い領域を検査する際に用いる。センサを保持する部位がシリコンゴムであり、こちらもモータ外表面形状への追従が可能な構造となっている。

これらアレイプローブの適用により、検査結果の可視化も可能となり、判定も容易となる。

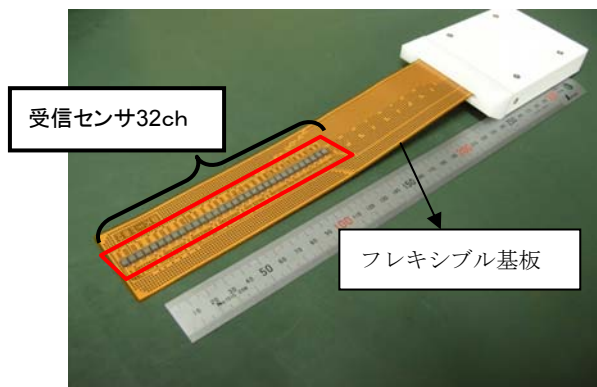


図5 狭空間アレイプローブ

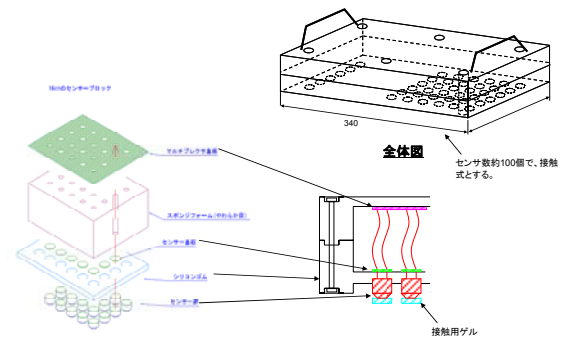


図6 広域アレイプローブ

### 3. 結言

イプシロンロケット初号機では、モータ推進薬の形状、位置に合わせて反射法と透過法を組み合わせ、その実機への適用性を確認する。平行して、信号処理、励起パターンの変更等にて S/N 向上の可能性について検討し、2号機以降、従来の放射線検査から、超音波検査へ移行していく方針である。

### 参考文献

- 1) 湊将志, 山下清貴, 塩野秀幸, 佐藤明良, 佐藤英一: 固体ロケットモータの空気超音波による非破壊検査, 非破壊検査, Vol. 59, (2010) 515-519.
- 2) 山口洋幸, 湊将志, 佐藤明良, 佐藤英一: 第55回宇宙科学技術連合講演会, (2011/11).