

小型超音速実験機（ロケット実験機）  
対策検討報告書

平成15年1月15日

対策検討委員会

## まえがき

平成14年7月14日の小型超音速実験機（ロケット実験機）の飛行実験失敗を受けて設置された原因調査委員会によって、原因が特定されたことに基づき、その対策を検討し、提言を行うために本委員会が設けられた。この報告は、失敗の直接的原因及び調査の過程で指摘されたシステム設計上の留意事項の対策、ならびに直接的原因が発生した背景分析と再発防止のための開発体制改善について検討を行い、その結果を航空宇宙技術研究所が今後実験再開に向けて具体的に対策作業を進めるに当たっての指針としてまとめたものである。

対策検討委員会

委員長 後藤昇弘

## 目 次

	頁
1．はじめに	1
2．飛行実験失敗原因とその背景	2
3．対策	3
3．1．飛行実験システムに関する事項	3
3．2．開発体制に関する事項	8
4．まとめ	10
資料1 対策検討委員会の活動概要	11
資料2 飛行実験失敗の直接原因	12

## 1 . はじめに

平成14年7月14日に航空宇宙技術研究所が実施した小型超音速実験機（ロケット実験機）の飛行実験の失敗に関しては、原因調査委員会（委員長：相原康彦東大名誉教授）によってその原因がロケット誘導制御コンピュータ（オートパイロット；AP）における不適切な構造及び機器配置にあるものと特定された。同時に、対策検討にあたっては主原因の他に問題がないか点検を行うとともに、主原因の背景などについて調査することが提言された。

これを受けて、航空宇宙技術研究所は飛行実験システムの改修対策及びプロジェクト推進体制の点検改善、ならびに飛行実験再開に必要なその他の検討を行うため、本委員会を設置し、本委員会に対して小型超音速実験機（ロケット実験機）の飛行実験システム及び開発体制に対する提言を求めた。

本委員会は先の原因調査委員会の提言も踏まえ、第一に、主原因となった不具合が一連の開発過程で見いだすことができなかった背景を調査してその問題を明らかにし、次に、飛行実験システムについて原因調査委員会で判明した事項も含め、信頼性及び安全性の観点から現状のシステムにおいて改善が望ましいと考えられる事項を可能な限り幅広く抽出し、開発体制の改善も含めて今後の対策について検討を行った。（資料1）

本報告は、その調査・検討結果について整理し、航空宇宙技術研究所がロケット実験機の実験実施に向けて、対策・改善を検討すべき事項についての提言を取りまとめたものである。

## 2 . 飛行実験失敗原因とその背景

飛行実験の失敗原因については、原因調査委員会により A P における不適切な構造と機器配置にあったと特定され、また、これらが設計、製造、機能試験等からなる一連の開発過程で見いだされなかったことも関与しているものと指摘している。(資料2)

飛行実験失敗の原因となった A P 部分について、その設計、製造、検査ならびに試験などの一連の開発過程を調査した結果、一連の開発過程において不具合を見いだせなかった背景が下記にあるものと判断された。

- ( 1 ) ロケット誘導系は出来る限り信頼性の確立した既存部品、既存技術を用いて設計された。しかしながら A P については既存の基板を活用しているものの、筐体、信号及び電源の入出力部については N A L 7 3 5 に適合するように新規に設計された。
- ( 2 ) 電気的入出力部のフレックスハーネス基板の設計変更が行われたにもかかわらず、担当部門間の連携不足によって A P 部全体としての技術検討及び評価が不足し、同時にその設計変更が組立図に反映されることなく他の A P 部品との整合を確認する機会を失った。
- ( 3 ) A P に関する地上試験として、A P 等の機器を搭載した組立て状態でのロケット誘導計測部に対する振動試験等の環境試験が行われたが、A P 単体の振動試験は実施されなかった。また、M I L 規格を適用した試験を実施したが、A P ショックマウントの特性を考慮すると、A P を含めた搭載機器の環境試験による評価が十分でなかった。
- ( 4 ) 技術的には信頼性確認済みのサブシステムであるとの判断のもとに、製造メーカーにおいて A P 全体を一つとしてとりまとめる適切な責任者が配置されなかった。

この様に、担当部門間の連携不足、技術検討及び評価の不足、A P 全体のとりまとめの適切な責任者の不在等から、設計の調整・審査、製造、組立、さらには検査、試験の各段階で設計変更による不具合因子が発見されないままとなり、実験失敗の原因となったと考える。

### 3 . 対策

本章では飛行実験失敗の再発防止を目的とした改善策を、実験機・ロケット及び地上設備からなる飛行実験システムに関する事項と、設計・製造・検査・試験の一連の過程における開発体制に関する事項とについて提言する。これら改善策の検討に際して、本システムが前例の無い打上方式であることから、再度点検を行った。その結果を踏まえ、ここでは失敗の直接原因に関する項目に限らず、システムの十分な信頼性と実験安全性を確保するために必要な項目もできるだけ幅広く抽出し、それらに対する対策あるいは検討の必要性についても提案する。

#### 3 . 1 . 飛行実験システムに関する事項

本節において飛行実験システム全般に関わる改修対策の項目を提示する。項目には、直接原因に対する対策として実施が必須であるもの、及び原因調査の過程において抽出されたその他の項目のうち、信頼性向上のために対処すべきものが含まれる。またそのほか、設計内容の総点検によって抽出され、今後の技術検討によって対策の要否を判断すべき項目についても検討項目として提示する。なお、システム改修項目の検討の流れを図1に、改修検討箇所の概要を図2に示す。

##### 3 . 1 . 1 . 直接原因に対する対策

失敗の直接原因となったAPの電源ライン短絡は、AP入出力部のフレックスハーネス基板に設計変更して設けた5V電源スルーホールが、ロケット発射時の加速や振動等でAPが移動したことによって、アルミ製ブラケットに接触したことから発生したものである。このため、スルーホールの短絡防止、及びAP防振マウントの変形によるAPのハーネスの干渉の回避を目的として、以下の電源ライン周辺の改善を行い、AP単体としての信頼性向上を図ることが必須である。

コネクタ及びその取り付け方法の改善

変形の少ないAP防振マウントへの変更

AP周辺ハーネスの干渉防止

なお、防振マウントに関しては使用実績、振動試験結果などを十分に評価検討して選定する必要がある。

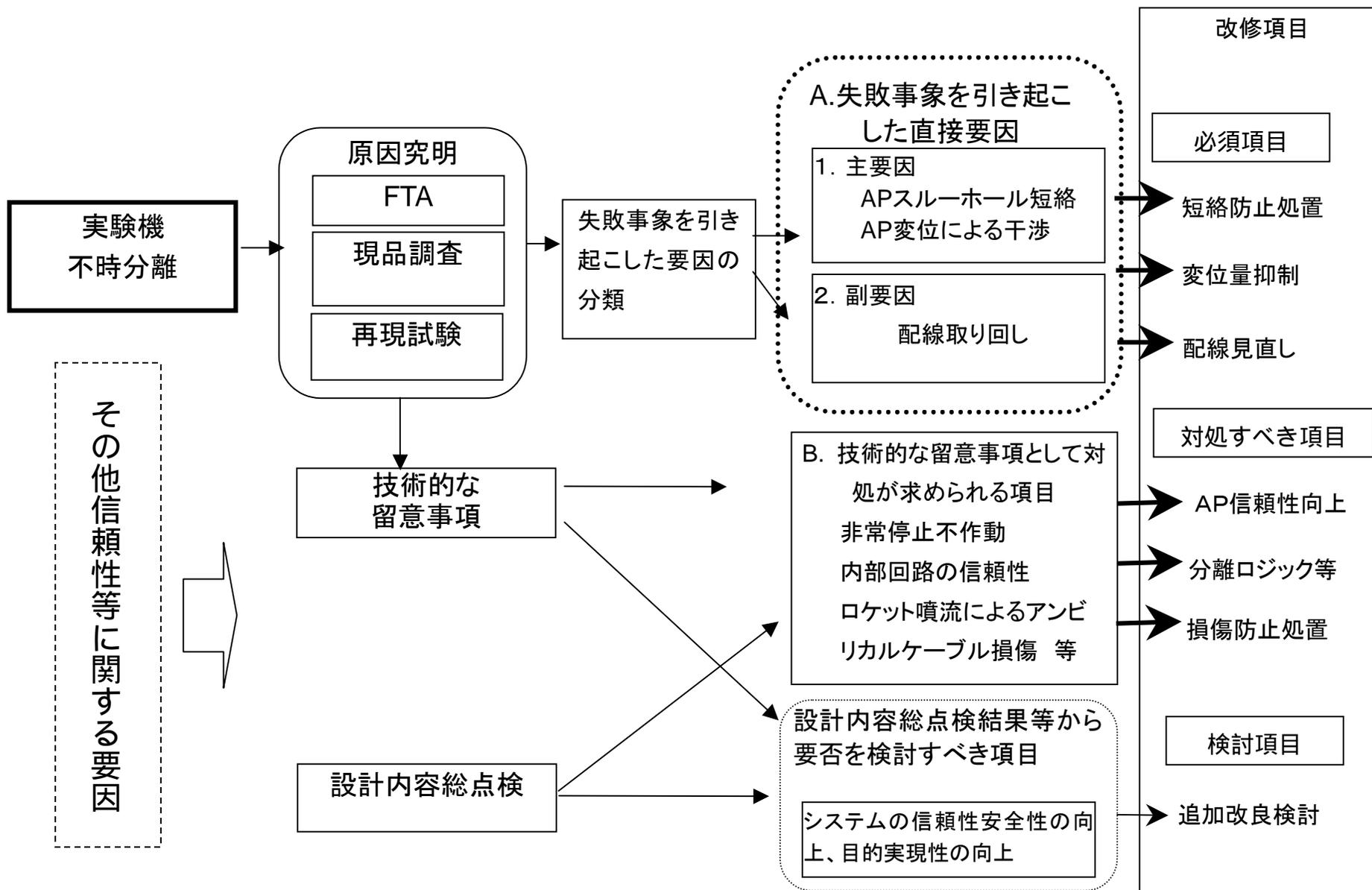


図1 システム改修項目の検討の流れ

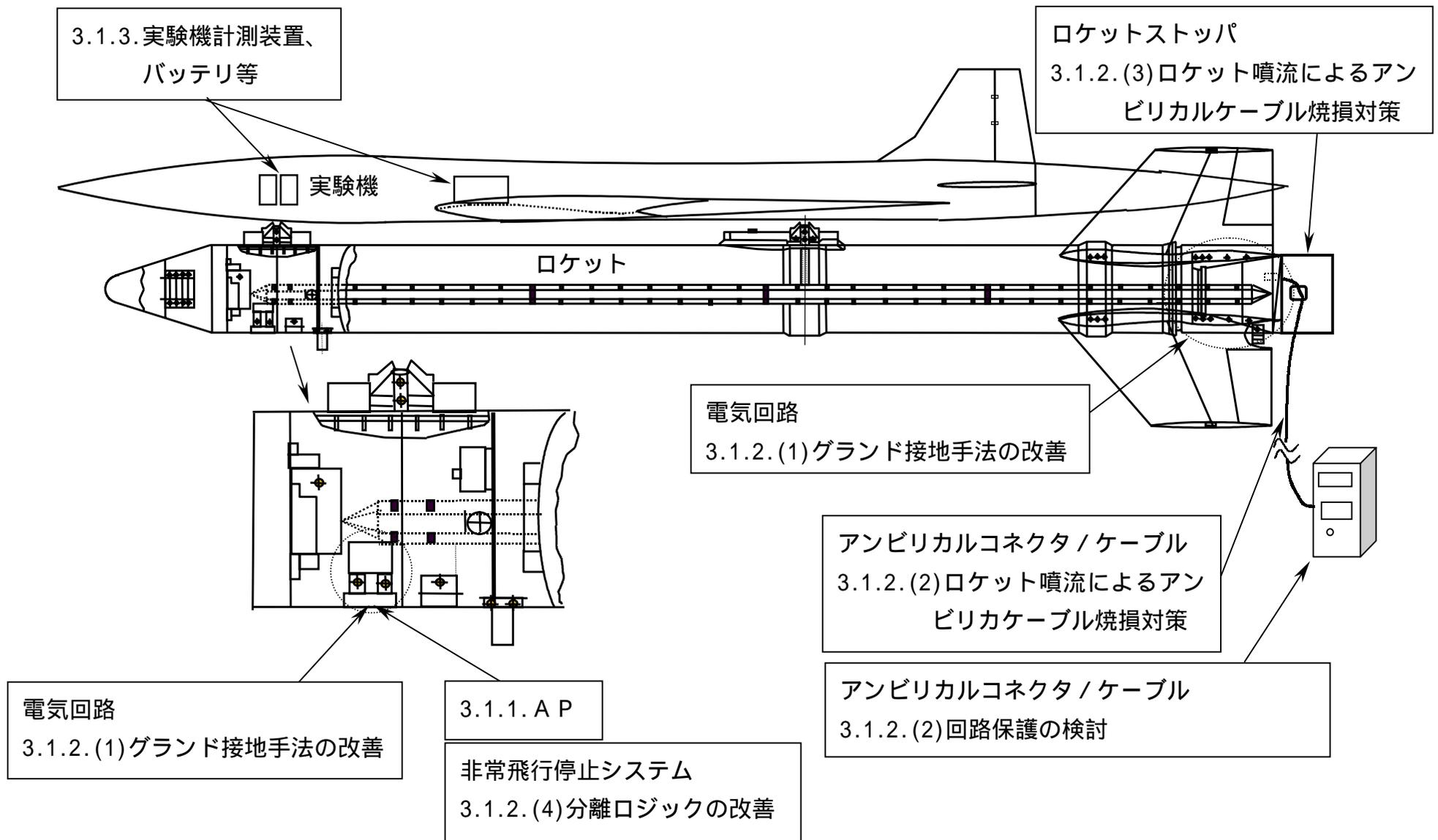


図2 システムの改修検討箇所の概要

### 3.1.2. 信頼性・安全性向上のために対処すべき項目

調査の過程において指摘した技術留意事項で、飛行実験システムの信頼性及び実験安全性の向上のために対処すべき項目を以下に示す。

#### (1) 電気回路

原因調査の過程においてアンビリカルケーブルの破損や短絡による電氣的影響が懸念されたこと、電源異常のAP機能及び制御部への影響の可能性が指摘されたこと、ならびに、地上装置/ロケット実験機間に不要なグラウンドループが形成されていたことを受け、アンビリカルケーブル破損等による誘導計測部への電氣的影響の排除、電源異常を含む電氣的外乱に対する耐性の確保を目的とし、以下の対策により電気系回路の信頼性向上を図ることを提言する。

グラウンド接地手法の改善

アンビリカルラインにおける電氣的インタフェースの保護

AP電源の信頼性確保

#### (2) ロケット - 地上間アンビリカルコネクタ/ケーブル

アンビリカルケーブルの破断あるいは短絡によるシステムへの電氣的影響が原因調査の過程において検討された。ロケット離昇時のコネクタ分離の确实性を向上させるとともに、アンビリカルコネクタ/ケーブルに対するロケット噴炎の影響を排除するために、ロケットと地上装置を結ぶアンビリカルコネクタ/ケーブルについて、以下の対策を検討することを提言する。

ロケット噴炎の影響を受けない位置への移動ならびにケーブルの保護

アンビリカルケーブルの回路保護の見直し

#### (3) ロケットストッパ

アンビリカルケーブルの焼損の対策として検討するアンビリカルコネクタ/ケーブルの位置の移動に対応して、ロケットストッパへのケーブル固定方法を見直す必要がある。また、NAL735のノズルが打上ランチャのブーム方向にカント角をもっている。このため、現状のノズルストッパでは噴流が干渉することによりロケット及びランチャが熱的影響を受ける懸念があり、ストッパ形状の見直しを提言する。

#### ( 4 ) 非常飛行停止システム

飛行実験システムの飛行安全確保のために装備した非常飛行停止装置は、地上からのコマンド送信と、APによる自動機上判定との二重システムを有していた。しかし、今回の飛行実験ではAPの異常という単一故障により実験機とロケットの分離、ロケットフィンと実験機の衝突、コマンド受信アンテナの脱落が起こり、結果として非常飛行停止システムが機能しなくなることが明らかとなった。このような事象を排除し、早期分離を含むあらゆる故障モードにおいて非常停止機能を確保するため、APの信頼性の向上対策や分離ロジックの改善を含め、地上からの非常飛行停止機能信頼性確保の対策などを総合的に検討することを提言する。

#### ( 5 ) 試験方法

調査の結果、今回の直接原因の一つとして、単体試験を省略したことに加え、誘導部に対して実施した環境試験の条件も設計及び実使用環境を十分に反映していなかったことを指摘した。これを踏まえ、改修後の各種確認試験は、飛行実験の前に可能な限り正確にシステムの特長ならびに信頼性、安全性を地上で確認することによって、実験の成功率を高め、実験の安全性を確保することを基本とすべきである。

試験実施にあたっては、地上燃焼試験データの活用を含め、実環境に可能な限り近い条件を採用するとともに、設計条件を考慮したものである必要がある。また、可能な限り最終形態での試験を実施する方向で検討することも含め、これまでの試験条件及び試験方法を再確認し、それらの妥当性を見直す必要がある。試験結果の評価についても評価体制の充実を含め広くかつ正確な視点から行うことが必要である。

また、本飛行実験システムの打上方式がこれまでに経験のない独自のものであることを考慮し、シミュレーション解析等を充実させ、さらに技術確認のためにロケット打上による実証試験の追加を含め、十分な検討を引き続き行うことを提言する。

#### 3.1.3. 検討項目

前述の項目の他、飛行実験システムの信頼性向上のみならず、プロジェクトとしての完成度及び成功率の向上を目的とする改修策として、実験飛行中の緊急事態に対処するための地上からの分離コマンド系拡充の必要性と実現性の検討、ロケットの状態データのモニタ強化あるいはシステム状況把握の拡充を目的とした通信の改善、結合分離装置の信頼性検討を目的とした強度及びシステムの再検討、ならびに分離の确实性の確保な

どを引き続き検討していくことを提言する。

また、技術開発ツールとしての飛行実験システムに求められる適切な信頼性のレベルを確保するという観点から、上記以外のサブシステム、機器及び部位について調査検討を継続し、妥当性ならびに整合性を勘案した上で、必要な改修を実施することが望ましい。

### 3.2. 開発体制に関する事項

実験失敗の直接原因となったAP短絡発生要因が飛行実験まで発見されなかったことを受け、対策実施を含む今後の本プロジェクトの推進において同様の問題の再発を防止し、目標とするシステムの信頼性の向上を一層確実にするため、プロジェクト推進管理、設計管理のための体制の改善策、及び適切な専門技術者の配置や今後の課題について、その考え方を提示する。

#### (1) 航空宇宙技術研究所の課題

これまでに進めてきたシステム開発をより確実なものとするため、設計から試験に至る技術プロセスのすべてにわたって担当部門の責任の明確化と部門間連携およびリーダーシップを強化した体制が必要と考える。特に、ロケット開発の責任者の明確化、及び全体システムの品質・信頼性確保、ならびに電気系統の設計管理を含めた体制上の整備を検討すべきである。

また、国内の他の機関、特に宇宙科学研究所及び宇宙開発事業団の技術及び経験の有効な導入についても積極的に検討することが望まれる。

プロジェクト推進者であり、システム製造の発注者である航空宇宙技術研究所は強いリーダーシップを発揮するとともに、システム製造者であるメーカーとの相互信頼に基づく連携をより一層強め、システム開発全体の信頼性を向上することに常に留意すべきである。

#### (2) メーカーの課題

メーカーにおいては、実験機・ロケットを合わせた全システムを統括できる責任者を設置することを第一とし、設計、製造、検査におけるサブシステム単位に至るまでの責任の所在の明確化が必要である。また、同様の開発経験を有する人材の配置、航空宇宙分野における電気系設計基準の適切な適用や、設計変更等への調整統合機能の確保などの的確な対応のための情報流通、設計管理について改善が必要と考える。さらに、メーカー

内外部有識者による設計、製造、検査などのレビューの拡充による問題点の事前発見機会を拡大することも重要である。

#### 4 . まとめ

本委員会の対策検討の成果として、失敗原因の除去ならびにシステム信頼性の向上の観点から技術的改修項目を提示し、さらに技術的問題点が生じた背景の分析を行い、再発防止策として開発体制の強化、特に責任者の明確化の必要性を提言した。

航空宇宙技術研究所及び関連メーカーにおいては、これら提言を十分に考慮し、本来の技術目標の達成と目的の実現に向け、お互いに協力し合い、迅速かつ正確に対応することを期待する。また、原因調査報告書が述べている様に国内の技術蓄積を有効に活用して、飛行実験の達成に向けた広範かつ十分な活動が望まれる。

## 資料 1

### 対策検討委員会の活動概要

#### 1. 対策検討委員会の構成

委員長	後藤 昇弘	九州大学大学院工学研究院教授
委員	井上 憲一	新明和工業株式会社航空機事業部技術本部長
委員	川幡 長勝	日本大学理工学部教授
委員	小林 修	東海大学工学部教授
委員	近藤 恭平	東京大学名誉教授
委員	佐木 誠夫	宇宙開発事業団特任参事
委員	中島 俊	宇宙科学研究所教授
委員	福島 幸夫	宇宙開発事業団宇宙輸送システム本部参事

#### 2. 審議経緯

第1回委員会（平成14年11月6日）

- （1）対策検討委員会の審議事項
- （2）原因調査委員会調査結果概要報告
- （3）実験失敗原因調査結果とその背景の整理

第2回委員会（平成14年11月18日）

- （1）失敗原因及び技術留意事項に対する改修計画案について
- （2）ロケット実験機システムについて
- （3）プロジェクト体制等の改善案について
- （4）実験再開の手順・計画案について

第3回委員会（平成14年12月4日）

- （1）ロケット実験機システムに関する改修・検討事項について
- （2）プロジェクト体制等の改善案について
- （3）今後の対策に関するとりまとめ方針について

第4回委員会（平成14年12月16日）

- （1）報告書のとりまとめについて

上記の委員会のほか、平成14年11月21～22日にロケット実験機飛行実験システム設計調査及び説明会を開催。

## 資料 2

### 飛行実験失敗の直接原因

(原因調査報告書抜粋)

実験機のロケットからの脱落という失敗事象は以下の通り生じたものと推定された。

ロケット誘導計測部内の防振システムに取り付けられたロケット誘導制御コンピュータ(オートパイロット:AP)が、ロケット発射時の加速等により変位して、AP入出力基板に接続されたハーネス(被覆電線束)が、近接して取り付けられていた電源回路ボックスに接触した。このため、AP入出力基板がハーネスから力を受けて変形し、基板の5V電源ラインのスルーホール部が、ブラケット(基板取り付け用金具)に接触してグランドに短絡した。基板の5V電源部の短絡によりAP供給電源電圧が低下してAPがリセットし、その結果として分離指令が発せられて分離ボルトが電氣的に作動した。これによって実験機はロケットより脱落した。

原因調査の目的であった科学的・技術的な原因究明の結論としては、上記の事象を引き起こした要因が次の不適切な構造及び機器配置にあったものとする。

- (1) 電源供給容量の改善のため、製造段階の設計変更により設けたAP入出力基板の5V電源スルーホールが、これを固定するブラケットに容易に接触し得る構造となっていたこと。
- (2) ロケット発射時の加速や振動等により、APと電源回路ボックスが相互に干渉し得る機器配置となっていたこと。

なお、上記の要因が設計、製造、機能試験等からなる一連の開発過程で見いだされなかったことも関連しているものとする。