

特殊小型ロケット特集号

—ARIS および SSR—

I. 委員会報告

The Progress Report Project ARIS and SSR

By
Committee SSR

Abstract: In the former Aeronautical Research Institute, University of Tokyo, successful results of fundamental research concerning with the rocketery had been accumulated.

In order to promote such works further, the synthetic division for rocket was organized by volunteer members in 1960, their original posts remaining unchanged.

At that time, the research group for the structure advanced the design of an extremely slender radial burning type rocket having outer diameter of 110mm and slenderness ratio L/D of over 20 for the motor made of aluminium alloy.

On the other hand, the research group for propellant enhanced the development of polyurethane fuel binder derived from completely domestic raw materials and succeeded to have the grain of extremely slow burning rate and of high specific impulse.

Based on these and the other activities, there arose an eager proposal for the development of a small solid rocket of distinctive performance having no specific mission, and if necessary for the promotion of basic research, it was proposed also to shoot it in order to study its flight performance and to feed back the results obtained to the basic researches.

These were the prime motives for the establishment of the Project ARIS and its succeeding Project SSR.

I. Project ARIS

The committee ARIS was organized at the beginning of academic year 1962 and headed by Prof. K. Ikeda as the chairman to perform the Project ARIS (Aeronautical Research Institute Solid Rocket) for the development of high performance single stage rocket motor having outer diameter of 110mm and slenderness ratio L/D of over 20 with no specific mission.

The production and loading of the grain was ordered to Dainippon Celluloid Company Ltd. according to the prescription decided from the research works performed in the Institute.

The first experimental static test with the motor of full diameter was fired on January 11, 1963.

After the time of this firing, the length of the motor was gradually increased keeping the fixed diameter of 110mm for the purpose to ascertain the effects of ballistic constants of the motor on the range of the stable burning.

The works for the development of such a record making slender motor was continued through 1964 and succeeded in suppressing so much troubles concerning unstable burning due to the unexpectedly severe erosivity of the grain. However, it is concluded that several problems should be yet solved in order to overcome the instability of the burning including the improvement of the characteristics of the propellant, thermal insulation of the motor case and inhibitor materials, nozzle design and so on.

II. Project SSR

Having left such problems unsolved after two years' activity, Project ARIS was succeeded by Project SSR (Special Small Rocket) with the abolishment of Aeronautical Research Institute and the establishment of Institute of Space and Aeronautical Science to reinforce the activity for the space science.

Concurrently to stimulate the activity, committee ARIS was also reformed to its succeeding committee SSR adding new active members. This committee was headed by Prof. K. Yamazaki as chairman and promoted by Prof. R. Kawamura as manager.

The principal aim of the new Project SSR was first to develop solid rocket SSR making full use of the results of the fundamental research so far obtained in Project ARIS, and second, to make flight test of SSR in the case of the development being in success.

With a view to accelerate the pace of the work, Project was divided into the following items and the phase leader was designated for individual item as shown in the parenthesis.

- A-1 The improvement of the mechanical property of the grain. (Associate Professor A. Iwama).
- A-2 The static firing test of the motor using the modified grain obtained from A-1. (Professor K. Kuratani).
- A-3 The static firing test of the actual motor to be used for the flight test. (Associate Professor B. Tomita).
- B-1 The improvement of the composition of the propellant to extend the range of the stable burning. (Associate Professor A. Iwama)
- B-2 The application of the modified propellant to the motor. (Associate Professor A. Iwama).

The project was expected to be completed in March 1965, the end of the academic year 1964.

The manufacture of the hardware and grain were contracted with Mitsubishi Heavy Industry Company Ltd. and Dainippon Celluloid Company Ltd. respectively.

Meanwhile, theoretical as well as experimental study on the aerodynamic characteristics of the rocket was carried out by our aerodynamics group with the partial collaboration of National Aerospace Laboratory.

At this step, the specification for the mechanical properties were established and the

redesign of the nozzle was performed.

Through the execution of the project, the joint meetings of the members of the committee with the executive members of the cooperative companies have been held eight times in tune with the degree of progress of experiments since the time of the first meeting held on June 10, 1964 until the final meeting held on July 22, 1965.

After several firings of actual motors, there found as one of the reasons of unstable burning that some solid fragments born in the combustion chamber might play a roll of the trigger for the flow disturbance. The fault of the ignition system caused the unusually high ignition peak was also recognized, and let to the conclusion that the ignition system should be redesigned.

After that, intending to find adequate measure to meet with the situation, experiments were repeated on the confirmation of the effects of the partial inhibition of the burning surface and found the optimum area ratio to be inhibited and the critical thickness of the inhibitor layer for the suppression of the combustion inadequacy.

Thus, with these results and the accumulation of the data after large number of static firings, the success of the extremely slender radial burning type motor having slenderness L/D ratio of 20.5 was forecast, and the actual program for the flight test was enrolled in the observation series which was scheduled to be in August, 1965.

The unique slender rocket thus developed was named as HT-110 (Test rocket for aerodynamic heating test having outerdiameter of 110mm) by the other committee for flight test.

It was fired under the command of Assoc. Prof. B. Tomita at Kagoshima Space Center with the angle of shooting of 75 degree at 909 am on August 22, and shown quite satisfactory flight.

Due to the unexpected mishandling of the launcher, the second flight test by HT-110-2 was obliged to be given up.

However, reflecting the enthusiastic hope of the research group for the aerodynamic heating and the flight performance, it was decided to manufacture again two substitute rockets of the same design except for the leading edge of the tail wing being sharpened for the reason deduced from the data of the flight test that the flight performance might be improved remarkably by the reduction of the drag.

Arrangement for new rockets was proceeded successfully in relatively short term and were fired at 9.00 and 11.00 a.m. under the command of Prof. M. Uemura on January 22, 1966 respectively with the same launching angle of 75 degree from Kagoshima Space Center. Their flight performances obtained by means of primary radar and telemeter were quite satisfactory.

With these successful flight tests, the aim of Project SSR has been completely accomplished.

By the reflection of the progress, these projects contributed to the promotion and the stimulation of the fundamental researches in various fields relating to the rocketery in spite of the fact that the developed rockets were small in size and had no specific mission.

In conclusion of this progress report, the committee wishes to express sincere thanks to Mitsubishi Heavy Industry Company and to Daicel (Former Dainippon Celluloid) Ltd. for their kind cooperations in connection with Project ARIS and SSR.

The members of the committee were as follows:

ARIS

Chairman: Prof. K. Ikeda

| | |
|----------------------|-------------------------|
| Professors: H. Asada | N. Niwa |
| A. Iwama | H. Oguchi |
| R. Kawamura | M. Okada |
| H. Kambe | B. Tomita |
| K. Kawata | H. Tsuji |
| K. Kuratani | K. Yamazaki |
| E. Niki | Y. Yoshimura (Deseased) |

SSR

Chairman: Prof. K. Yamazaki Manager: Prof. R. Kawamura

| | |
|----------------------|-------------|
| Professors: R. Akiba | E. Niki |
| H. Asada | N. Niwa |
| K. Ikeda | H. Oguchi |
| A. Iwama | M. Sunakawa |
| K. Kawata | B. Tomita |
| K. Kuratani | H. Tsuji |
| M. Mizumachi | M. Uemura |
| D. Mori | |

The working budget for the project was as follows:

| | | | |
|------|------|--------------|--|
| ARIS | 1962 | ¥ 10,000,000 | From special budget for onservation |
| | 1963 | 7,500,000 | From special budget for observation |
| | | 7,300,000 | From special apportionment of fundamental research budget |
| SSR | 1964 | 28,000,000 | From special budget for observation |
| | 1965 | 6,400,000 | From special budget for observation |

I. 1 経 過 報 告

東京大学の旧航空研究所においては多くの研究部門でロケットに深い関心が持たれ、それに関係のある基礎研究が盛んに行なわれるようになってきていた。その一つの動きとして有志所員のロケット研究会からロケット研究会ノート後にロケットノートが発行されることになり、その第1号が昭和34年3月に発表され、研究促進に大きな貢献をした。

これらの研究の横の連絡をよくして有効に研究を促進するために、昭和35年にロケット研究総合部が設けられ、多くの有志所員がそれぞれの研究部に所属のままこれに参加した。

そのころすでに構造部門では高性能ロケットを目標として直径に対する長さの比、いわゆ

る L/D が 20 以上という記録的な寸法を持つ軽量構造の特長ある小型ロケットの設計研究がそれに必要な実験と平行してかなりの程度に進んでいた。また、推進燃料部門では純国産原料によるポリウレタンの合成ならびにその構造と物性の関係、さらにそれを燃料結合剤に利用した低燃焼速度、高比推力の混成系固体推進燃料の研究試製が進められていた。

そこで、これらの研究を手がかりとして、各研究室で着々と積み重ねられた研究成果をとりまとめて特徴のある特定の使命のない小型ロケットとし、研究に必要であればその飛しょう性能までを追跡し、その結果を基礎研究に反映させたいという話を持ち上がった。これが ARIS 計画および SSR 計画のそもそもの動機であった。

I. 1. 1 ARIS 計画

こうして航空研究所のロケットに関する基本理念に沿って、小型ロケットの研究計画が承認され、その名称も航空研究所 (Aeronautical Research Institute) の頭字と固体ロケットを示す S とから ARIS 計画として 37 年度に発足した。

この計画を行なうために、池田教授を委員長とする ARIS 委員会が編成され、麻田・岡田・河村・神戸・倉谷・仁木・富田・辻・故吉村・山崎の各教授および助教授が委員会に参加した。この計画に要する経費として 37 年度観測経費からの配当額 1,000 万円が当てられた。

計画の具体化の第一歩として、これまでに得られた基礎研究成果の再検討とその補足研究が始められ、耐熱層材料およびその加工法の研究、比推力の向上と燃焼速度の低下などの補足研究が急がれた。

ロケットモータは地上静止燃焼により、厚肉燃焼筒から実物薄肉モータに移行する常法に従い、 L/D 5.5 から始めることとし、推進燃料研究室で研究開発した処方によりダイセル株式会社で推進燃料が製造された。

最初の地上燃焼試験は 38 年 1 月 11 日に行なわれ、 L/D 5.5 および 11 の厚肉燃焼筒によるものそれぞれ 4 本の実験を経て、3 月 12 日に薄肉モータの実験に入り、年度内に長短とりまぜ 41 本の燃焼試験を行なった。その結果、 L/D の増大と共に低燃焼速度のグレインには避けられない侵食燃焼といわれる性質が大きく現われ、見かけの燃焼速度が増大すると共に、性能の低下が目立つようになった。また、燃焼の安定域についての確認も再現性が不十分のために多くの困難を示した。

続く昭和 38 年度の ARIS 計画は第 2 次開発研究とし飛しょう実験を目標とし、前年度に実施した地上燃焼実験と同規模で行なうことが承認され、ロケット観測費よりの配当 750 万円に加え、所内研究費から 730 万円が特別配当され経費に当てられた。これと共に一部委員の分担任務が次のようにきめられた。

- ロケット、ランチャ、そのほか付属設備設計、強度試験、性能計算 (池田委員長)
- 推進燃料、地上燃焼試験 (山崎・岩間両委員)
- 風洞実験およびその結果の検討 (河村・小口両委員)
- 強度計算、センサ、空力加熱の計算 (植村委員)
- 安定計算、衝撃試験、加速度試験、センサ、スピンテクニクの検討 (富田委員)
- 応力解析、機能試験 (河田委員)
- テレメータ、レーダ (丹羽委員)

この年度の地上燃焼試験は L/D 15.5 の厚肉燃焼筒による実験から続行され、 L/D 22.5 のものまで実験された。実機についても細部の模様替えを経て実験が繰り返され、グレインの断面形状、ノズル寸法、燃焼定数などを変化させて燃焼性を試験し、主として L/D 16.5 のものについて実験を集中し多くの知見が得られ、実機モータにおいてもこの程度のものまでは十分に可能性のあることが確かめられた。

しかしながら、ひんぱつして異常燃焼により、まだ完全な段階に達していないと結論され、さらに燃焼試験を繰り返して燃焼の安定域を確立することが必要であって、その完了前には飛しょう実験をすべきでないと判定された。同時に L/D が 15.5 の程度ではまだまだ始めに期待した高性能は得られないので、なんらかの手法によりこの壁を破る必要が認められた。

推進燃料についても、その燃焼安定性についてより一層の改善が望まれ、燃焼性の再現性に関するグレインの品質管理についてもより多くの努力が要請された。

I. 1. 2 SSR 計画

これまでの2年度にわたり、数多くの地上燃焼試験を経て、研究室規模では予想されない多くの問題がひそんでいることが示され、基礎研究の面からこの種の計画がきわめて意義深いこと、それによる知識が基礎研究に強く反映し貢献することが明らかになった。

39年度こそは可能であれば飛しょう実験にまでこぎつけるという線で、研究組織について改編が行なわれた。たまたま、航空研究所は廃止され、新しく宇宙航空研究所が役立されたので、ARIS 計画の延長として特殊小型ロケット (SSR) 計画とし、したがって、委員会も SSR 委員会とし次のように編成された。

委員 麻田・池田・植村・小口・岡田・河田・⊕河村・⊙倉谷・砂川・辻・仁木・丹羽・森・○山崎・秋葉・⊙岩間・⊙富田・水町 (○委員長, ⊕幹事, ⊙担当者)

実施班 委員長, 幹事および担当者: 菅家事務官

分担. 総括: 委員長, 計画実行推進: 幹事, A 計画 (ロ): 倉谷委員, A 計画 (ハ): 富田委員, A 計画 (イ): 岩間委員, B 計画: 岩間委員

39年度研究費として、地上燃焼費 1,700 万円, 計測関係費 300 万円, 打上げ実機 300 万円, 基礎開発費 200 万円が配当され、本計画の実施を円滑にするために、機体関係を三菱重工業名古屋航空機製作所に、また推進燃料をダイセル株式会社にそれぞれ製造を依頼することになった。

実施計画はさらに次のようにわけられた。

A 計画 (イ) 推進燃料部門で既に開発された推進燃料について主として物性の改良を行なう。

(ロ) 改良された推進燃料を用いて厚肉および実機モータの地上燃焼を行なう。

(ハ) 前記 (ロ) の結果が良好の場合には、これを用いる小型ロケットを設計試作し、飛しょう実験を行なう。

B 計画 (イ) 推進燃料の燃焼安定性を向上するために研究を行なう。

(ロ) この計画で性能の改善された推進燃料が得られれば、A 計画にそれを採用する。

したがって、A 計画 (イ) および B 計画は大日本セルロイド, A 計画 (ロ) および (ハ)

は三菱重工業、ダイセルの両社と契約を結ぶことになった。

当初の計画ではA計画地上燃料試験を7月中旬に始め、9月末に完了することを目標とし、65年3月を飛しょう実験と予定した。

この時間表に従って、SSR委員会と契約両社の当事者とで適時に連絡会を持つこととし、6月10日にその第1回の方針会議が開かれ、実施に大きく踏み出した。

このころ、推進燃料の物性の測定法に多くの問題点があることがわかり、植村委員のもとで検討が加えられ、測定法仕様が定められ、一方では、ノズル性能向上のための設計変更に必要な実験が池田委員により進められた。その間にロケットの空気力学特性についての理論および実験研究が進められ、その一部には航空宇宙技術研究所の協力を得た。

地上燃焼試験による燃焼安定域と燃焼諸定数ならびに推進燃料の物性についての測定値がしだいに累積され、8月18日の第2回方針会議においては、物性の隔段の改善がすぐにはむずかしいという理由でB計画の一部を打ち切り、時期が間に合えば L/D を最初の計画どおり22まで増大することになった。

第3回方針会議は7月10日に開かれ、A計画(ロ)における燃焼安定域と燃焼諸定数、推進燃料の物性などの関係がかなり明らかにされた。推進燃料の物性の重要性はさることながら、異常燃焼の引合になるような異物が燃焼中に発生する可能性が認められ、 L/D 15.5に対する最適燃焼諸定数が確立された。さらに22に引上げるために、燃焼ガス流路の断面を軸方向に変化させる目的で、それに単孔断面を有する部分をつぎ足すことになった。

すなわち、この時点に至り、点火系統についての問題が浮びあがり、点火装置の改造に努力することになった。

一方、地上燃焼試験で安定に燃焼した場合の推力-時間曲線にもとづき、実機の飛しょう性能の検討が富田委員と三菱重工で始められた。

11月5日の第4回方針会議では点火装置の改修が決まり、それと共に、推進燃料の引張り伸度を増大して異常燃焼に対する安全度を向上することになった。

次で12月15日にはダイセル河内工場において第5回方針会議が開かれ、推進燃料の組成、点火装置の改修による実験結果、構造上の細部修正などについて検討された。

このように研究が進むにつれて点火ピークの問題が改めて取上げられ、その抑制についての検討が行なわれ、グレイン燃焼面の一部を燃焼抑制することによって可能であり、しかも推力時間曲線の初期相当部を燃焼後期に遅らせる効果のあることが基礎実験で見通され、これを実機に応用することになった。

40年3月5日の第6回方針会議においてはこれらのことが実証により確認され、A計画(ロ)に終止符が打たれることになった。同時に、 L/D 22.5という記録的なロケットモータの完成の見通しがこくなってきた。

SSR計画はそのまま延長して次年度は行なわず、39年度で発展的に解散することが期待された。

このような経過を経て、4月28日には第7回の方針会議を迎え、8月観測実験で飛しょう試験を行なうことになった。そこでA計画(ハ)の実施案が検討され、飛しょう実験を慎重に練った結果、7月中に完了を期して、飛しょう実機と地上燃焼実機とを各1基ずつを

同一作業による推進燃料で充填し、製造を3回繰返すことにし、それらの中で地上燃焼試験成績のよい組の実機2基を抽出した飛しょう実験することにした。残る実機の一つは地上燃焼することにし、環境試験をかねることにした。

ここでこのロケットは観測ロケット関係の委員会に持ち込まれ、HT-110と称せられて飛しょう実験の準備に入り、5月14日にそのための設計会議が開かれ、SSRの諸元、性能、地上実験成果の概略、搭載予定計測機器についての説明が改めて行なわれた。次で6月29日には40年度第2次(8月)実験飛しょう班会議が開かれ、飛しょう実験の実務分担がきめられた。

最終の地上燃焼試験は7月15日に行なわれ、全部の組が良好な成績を示し、飛しょう実験の成功が十分に期待されるに至った。

次で7月22日に第8回の最終方針会議が開かれ、最終地上燃焼試験の報告と共に、飛しょう機の内之浦実験場への輸送、実務分担、見学者などについて打合せが行なわれ、1号機はレーダトランスポンダ、2号機はテレメータ搭載とし、搭載機器は前年度に準備したものを使用することにした。

8月22日午前9時9分に富田実験主任により1号機は75°の仰角で発射され、正常に飛しょうした。続く2号機は打上げ準備作業中にランチャの誤操作により落下事故を起したので打上げの中止を余儀なくされた。

飛しょう実験成績の検討によって、ロケットの空気抵抗が大きく、飛しょう性能を改善できる余地が十分にあることがわかり、加えて、中止した2号機の代替機を製作し、手持ち搭載機器を活用して空気力学加熱の研究を行なう希望が強く打出された。

これに要する経費が承認され、改めて実機を2機製造して飛しょう実験を繰返すことになった。今回は尾翼の前縁部のみを改造して抵抗を減少せしめることになり、41年1月実験に間に合わせるように計画を立て、急いで取りかかることになった。

このようにして、あらたに製造された2機は41年1月14日に内之浦に搬入され、植村実験主任により1月22日午前正9時に第2号機が75°の仰角で発射され、正常に飛しょうし、計算通りの飛しょう成績を挙げ、1号機よりも著しく性能を改善したことが示された。また、ノーズコンの温度変化についても計測され、実験の目的が達せられた。

続いて同日11時10分に植村実験主任により3号機が同じ仰角で発射され、これまた計算どおりの飛しょう成績を挙げ、尾翼の改修により、性能は著しく向上したことが立証された。

旧2号機は地上燃焼試験に回され、点火装置と異常燃焼との関係についての実験に利用された。

このような経過をたどって、特殊小型ロケットの研究計画は終了し、基礎研究を通じ、ロケット工学に関係する各研究分野に多大の知見が与えられ、この計画の価値が十分に認められた。

最後にこの研究計画について特別のご配慮とご支援をいただいた三菱重工業およびダイセルの両社に感謝すると共に、航空宇宙技術研究所の関係された方々に深くお礼を申し述べたい。

I. 1. 3 委員会の編成

(1) AIRS 委員会

| | | | | | |
|-----|-------|-------|------|---|--|
| 委員長 | 池田健 | | | | |
| 委員 | 麻田宏 | 倉谷健治 | 辻 | 広 | |
| | 岩間彬 | 仁木栄次 | 山崎毅 | 六 | |
| | 丹羽登 | 小口伯郎 | 河村龍馬 | 三 | |
| | 岡田実 | 故吉村慶丸 | 河田幸 | 三 | |
| | 神戸博太郎 | 富田文治 | | | |

(2) SSR 委員会

| | | | | | |
|-----|-------|------|------|------|--|
| 委員長 | 山崎毅六 | 幹事 | 河村龍馬 | | |
| 委員 | 秋葉鎌二郎 | 水町守志 | 麻田宏 | | |
| | 森大吉郎 | 砂川惠 | 池田健 | | |
| | 仁木栄次 | 富田文治 | 岩間彬 | | |
| | 丹羽登 | 辻 | 広 | 河田幸三 | |
| | 倉谷健治 | 小口伯郎 | 植村益次 | | |

I. 1. 4 研究計画経費

(1) ARIS 計画

| | | |
|----------|-------|--------------|
| 昭和 37 年度 | 観測事業費 | 10,000,000 円 |
| 昭和 38 年度 | 観測事業費 | 7,500,000 円 |
| | 基礎研究費 | 7,300,000 円 |

(2) SSR 計画

| | | |
|----------|-------|--------------|
| 昭和 39 年度 | 観測事業費 | 25,000,000 円 |
| 昭和 40 年度 | 観測事業費 | 1,600,000 円 |

1966 年 4 月 25 日 材料部 山崎毅六

I. 2 地上試験

山崎・岩間研究室により開発された低燃速ポリウレタン推薬を、薬長 2,240mm、薬径 100mm という、細長比の大きなロケットエンジンに適用することが試みられたが、ここにそのエンジン地上試験の実施状況について報告する*。エンジン地上試験は 2 年度にわけて実施され、第 1 年度においては (ARIS 計画)、推薬の製造、エンジンへの装填、地上試験の計測などにつき、ダイセル河内工場との契約のもとに行なわれたが、第 2 年度は (SSR 計画) 早急にこれを完成させる意味もあって、地上試験の内容を

推薬の製造、エンジンへの装填……ダイセル河内工場

エンジン本体の製作、燃焼試験の実施……三菱重工名古屋航空機製作所

異常燃焼の計測……東大宇宙研

* 実験結果の詳細については別項で述べる。