

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				
	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 恵	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。

とわけて、それぞれ分担することとし、ARIS, SSR 委員会によって実験の細部にわたって検討を加えつつ、エンジン完成を目ざした。

1. 第 1 年度実験

まず第 1 年度においても、エンジンの寸法として薬径 100mm, 薬長 2,240mm のものを最終目標とすることはもちろんであるが、全長の 1/4 サイズのものから逐次推薬長を伸ばすことを基本として考え、この線に従って一連の地上試験が行なわれた。なお実験に当っては、地上試験用の軟鋼製厚肉シリンダによる燃焼試験を先行させ、これにつづいて実機と同材質のアルミニウム合金で作った薄肉シリンダに推薬を充填したものによる地上燃焼実験を施行した。

この間において、まず使用推薬の選定に始まり、点火器の材質、取付方法の検討、耐熱層、燃焼抑制剤層についての改良、ことに、推薬端面の火炎に対する保護方式の改善が次々と考案、実施され、エンジン構成に必要な知見が積み重ねられた。その詳細については後述することとし (p. 630)、ここでは地上試験で得られた成績について概括しよう。

第 1 表は 1/4 サイズ, 1/2 サイズによる試験結果の一覧表で、試験条件および結果の成否のみを示したものである。表には試験条件としてノズルスロート面積 A_t , $K_F (=A_p/A_t)$, $K_n^0 (=A_n^0/A_t)$ および推薬注型時の使用マンドレル番号を示した。マンドレルの種類によって free port area A_p および周長 l , したがって燃焼表面積の初期値 A_n^0 が決定されるが、それらの詳細は後述 (p. 632) する。また試験結果の判定は異常燃焼の成否に主としてよったもので、表中の時間は点火後、異常燃焼発生までの時間を示す。

第 1 表の結果から、1/4 サイズ, 1/2 サイズでは少なくとも半数は正常に燃焼しているので、次にはフルサイズエンジンの試験を厚肉シリンダによって試みたが、これは第 2 表に示すように、全数失敗に帰した。そこで 7/8 サイズ, 3/4 サイズにもどって厚肉シリンダによる試

第 1 表 1/4, 1/2 サイズ地上試験結果 (第 1 年度)

No.	日 付	マンドレル	A_t	K_F	K_n^0	備 考
1/4 サイズ						
HW-1*	38. 1. 11	1	1.62	6.52	569	× 点火器ケース不良
HW-2	38. 1. 11	1	1.89	5.57	488	○
LW-1	38. 3. 12	1	1.60	6.81	571	× 7.5 sec
LW-2	38. 3. 12	1	1.53	7.12	597	× 点火直後
LW-3	38. 8. 7	1	1.80	6.05	508	○
LW-4	38. 8. 7	1	1.78	6.06	515	○
1/2 サイズ						
HW-3	38. 2. 4	1	2.60	2.94	512	○
HW-4	38. 3. 2	1	3.60	3.52	615	○
LW-5	39. 9. 19	4	3.29	5.42	675	× 4 sec
LW-6	38. 9. 20	4	3.29	5.42	676	× 5 sec

* HW-は厚肉エンジン, LW-は薄肉エンジンを示す。

第2表 フルサイズ, 7/8 サイズ地上試験結果 (第1年度)

No.	日 付	マンドレル	A_t	K_F	K_n^0	備 考
フルサイズ						
HW-5	38. 3. 2	1	6.11	1.73	605	× 3.7 sec
HW-6	38. 6.19	4	6.07	3.0	740	× 2.3 sec
HW-6'	38. 7. 5	4	5.93	—	—	× (HW-6 再点火)
HW-9	38. 7.23	4'	7.30	2.66	748	× 2 sec
HW-10	38. 8. 7	5	7.43	2.0	740	× 点火直後
7/8 サイズ						
HW-12	38. 9. 3	2	5.79	2.02	572	× 3 sec
HW-14	38.10.12	4'	7.92	2.39	600	○

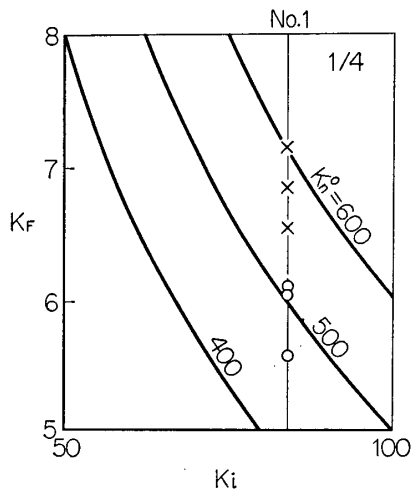
第3表 3/4サイズ地上試験結果 (第1年度)

No.	日 付	マンドレル	A_t	K_F	K_n^0	備 考
HW-7	38. 6.28	3	6.21	2.10	476	○
HW-8	38. 7. 5	2	4.59	2.54	616	○
HW-11	38. 9. 3	1	4.98	2.18	554	○
HW-13	38.10.12	5	4.91	2.87	822	× 0.6 sec
LW-7	38.10.16	2	6.52	1.79	444	○
LW-8	38.10.17	5	6.52	2.19	642	× 2 sec
LW-9	38.11.21	4'	7.25	2.61	576	× 1 sec
LW-10	38.11.21	3	6.52	2.01	461	○
LW-11	38.12. 8	3	7.23	1.81	417	○ (耐熱剤不良)
LW-12	38.12. 8	3	6.2	2.11	487	× 4 sec
LW-13	38.12.29	3	6.51	2.01	464	× 5 sec
LW-14	38.12.29	3	6.51	2.01	441	○
LW-15	39. 2. 5	3	6.83	1.92	441	× 4 sec
LW-16	39. 2. 5	3	6.83	1.92	441	× 1.5 sec*
LW-17	39. 3.21	3	6.83	1.92	441	○
LW-18	39. 3.21	3	6.83	1.92	441	× 3.5 sec
LW-19	39. 4.14	3	6.83	1.92	441	× 5.2 sec
LW-20	39. 4.14	3	6.83	1.92	441	○
HW-15	39. 4.30	3	6.83	1.92	433	× 0.9 sec
LW-21	39. 5. 8	3	6.86	1.92	440	× 0.9 sec

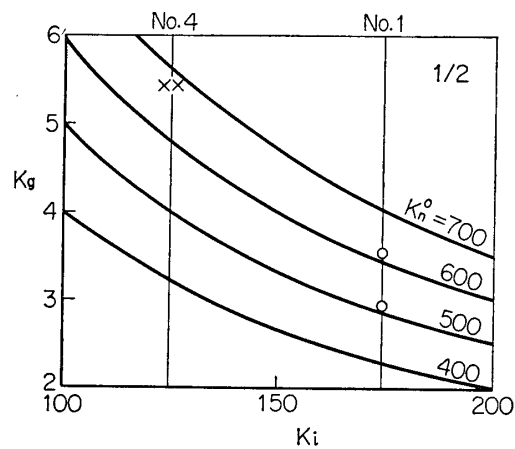
* 抑制剤層の処理不良のため側面へ火が廻ったもの。

験を行なったところ、第2表および第3表の厚肉シリンダによる実験結果から明らかなように、3/4 サイズではかなり高い成功率がえられたので、第1年度には3/4 サイズエンジンについて、さらに実験を重ねることとして、実機用薄肉シリンダについて、以後15回の実験を重ねた。以上の結果は、第3表に厚肉シリンダによる実験結果と合わせて示してある。

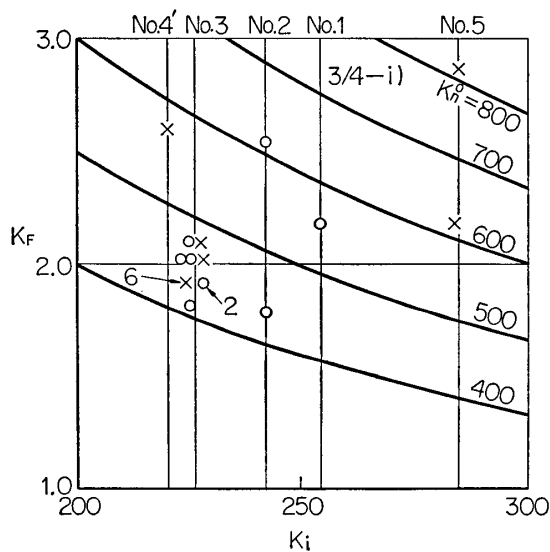
第 1 年度に行なわれた第 1, 2, 3 表の結果を総括して, 各燃焼実験における成否の原因をできる限り明らかにすることは, 以後の研究の進展にきわめて重要であるので, この点についての検討が試みられた. 今 1/4, 1/2, 3/4 サイズの実験結果を $K_i(A_b^0/A_p) \sim K_F(A_p/A_t)$ グラフ上に $K_n^0(A_b^0/A_t)$ をパラメータとして図示すると, 第 1, 2, 3 図のようになる. これらの変数を選んだ理由は断面形状の等しい推薬による実験例が, 縦軸に平行な直線上にのるからである. なお, 第 3 図では同一実験条件で多数回の燃焼試験が行なわれたので, 便宜上これらを横軸に平行に並べて図示した. なお, フルサイズ, 7/8 サイズでは, ほぼ全数が不



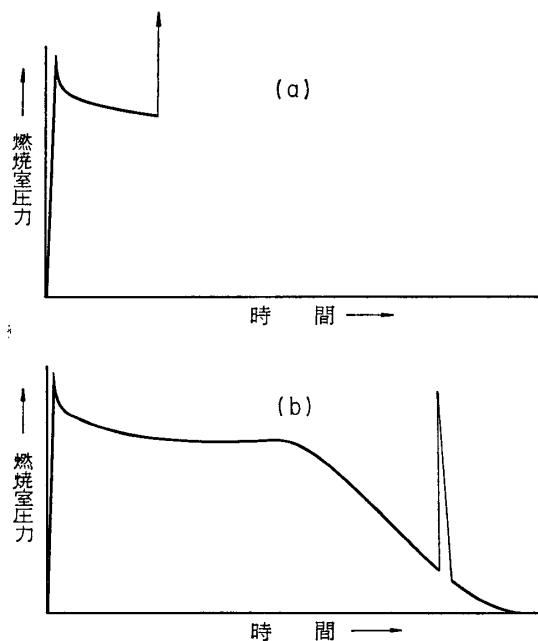
第 1 図 1/4 サイズエンジン地上試験結果



第 2 図 1/2 サイズエンジン地上試験結果



第 3 図 3/4 サイズエンジン地上試験結果



第 4 図 異常燃焼例

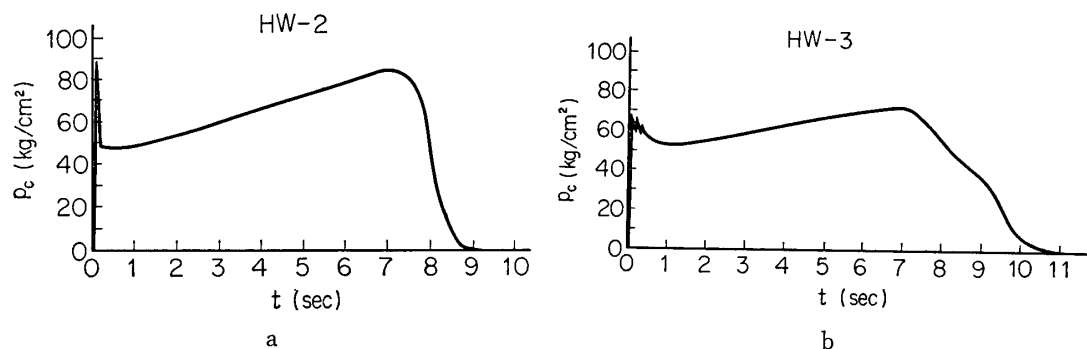
成功に終わったので、同様な図にまとめることをやめて、検討対象から除外し、残りのものについて、以上の実験結果から得られた点をまとめると、i) K_n^0 の大きいところ、いいかえれば燃焼時の内圧が大きい場合に異常燃焼しやすい。しかも、このような場合には点火後 1~1.5sec 以内で異常昇圧があり、エンジンが破壊されている。したがって内圧には限界最大圧の存在が推測される。第 4 図 a がその一例である。

ii) LW-15, LW-16 は推薬端面の抑制剤処理方式に欠陥があり、側面に火が廻ってエンジンが破壊されたが、端面処理方式の改良によってこの種の失敗は今後除かれるであろう。

iii) その他の異常例については、点火後ほぼ 4sec 以上経過した点で異常が生じている (LW-18 は例外)。その原因として、推薬のひび割れ、振動燃焼の発生が考えられるが、決定的な結論は得られていない。第 4 図 b にその一例を示す。

iv) 3/4 サイズで同一実験条件で行なわれた計 8 回の例 ($K_i=225$, $K_F=1.92$) 中 2 回が正常、6 回が不安定燃焼した。しかも、同じ K_i (マンドレル同一) で K_F を大きくした場合に 3 回の正常例と 2 回の異常例とがみられている。このことは、この実験条件が臨界点付近に近く、実験結果が、そのためにばらつくのか、あるいは、推薬製造時の品質管理が不十分で、推薬の特性が変動し再現性が低下したものと考えられる。

v) この推薬の特色は低燃速であるが、侵食燃焼性も著しいことで、第 5 図に 1/4 サイズ、1/2 サイズでの厚肉エンジンの燃焼曲線を示す。これからも明らかなように、1/4 サイズで



第 5 図 燃焼曲線の一例

は推薬断面形状から予想されるように圧力漸増型の曲線を示すが、推薬長が 1/2 サイズに伸びると、すでに侵食燃焼の影響が明らかに現われ、点火後圧力最大値に達するまでの時間が短くなり、tailoff 期間が伸びる。この傾向は 3/4 サイズ以上となるとさらに顕著になる、などが指摘される。

2. 第 2 年度実験

以上の点を考慮し、第 2 年度の実験に当っては、下記のような第 1 次実験方針を立てた。

1) 従来の推薬の仕様を若干修正^{*}、品質管理を厳格にする意味で、推薬の各種物性値

^{*} 前年度の最後の 4 本をこの方針に従って製造した (H-1, 2, I-1, 2)。したがって実験結果は第 2 年度のそれと合わせて論ずることとした。

第4表 安定域試験

No.	日付	マンドレル	A_t	K_F	K_n^0	備考
H-1	39. 7. 15	6	7.37	2.10	422	○
2	39. 7. 16	6	7.74	2.00	401	○
I-1	39. 7. 18	6	7.74	2.00	401	○
2	39. 7. 17	6	7.37	2.10	422	○
A-1-1	39. 8. 6	6	8.98	1.73	346	○
2	39. 8. 6	6	6.14	2.52	506	× 1 sec で破壊
A-2-1	39. 8. 12	6	10.24	1.51	303	○
2	39. 8. 12	6	9.14	1.70	340	○
A-3-1	39. 8. 17	3	9.14	1.43	323	○
2	39. 8. 17	3	7.95	1.65	371	○
A-4-1	39. 8. 24	3	10.35	1.27	285	○
2	39. 8. 24	3	7.07	1.85	418	○
A-5-1	39. 8. 26	3	7.95	1.65	371	○
2	39. 8. 26	3	6.12	2.14	482	× 0.6 sec で破壊
A-6-1	39. 9. 2	3	9.08	1.44	325	× 5.1 sec で振動燃焼発生
2	39. 9. 2	2	9.08	1.29	311	○
A-7-1	39. 9. 3	3	6.98	1.88	423	○
2	39. 9. 3	2	7.90	1.48	358	○

を新しく規定した方法で測定する。

2) 高周波振動燃焼の計測と、振動燃焼の抑制法に重点をおく。

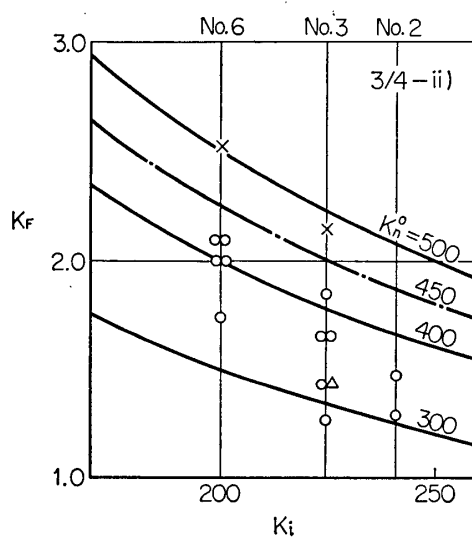
3) 厚肉燃焼筒を用いて正常燃焼の確保される領域をまず求め、次に安定域中の最適点で実機用燃焼筒で再現性試験を行なう。

4) 3/4 サイズエンジンを完成させ、成功した場合にはフルサイズエンジンの試験を行なう。

以上の方針のもとで行なわれた実験結果の概要を次に述べよう。

安定域試験

厚肉シリンダーを用い、この推奨の安定燃焼域を決定するために行なったが、前年度の結果を参照して、内圧をやや低くすること、ノズルスロート径を段階的に変えて、系統的に実験を実施することとした。結果を第4表、第6図に示す。その結果、 $K_n^0 \leq 430 \sim 450$ が上限とみられる。一方、下限としては侵食燃焼とのかねあいもあり、 $K_F > 1.5$ 以上が妥当と考えられる。第6図の異常例は2例とも、点火後 1sec 以内にエンジンが破壊されてきており、限界圧を超えている場合の特色を



第6図 3/4 サイズエンジン地上試験結果 (第2年度)

保っている。

次に K_i の値, いいかえれば推薬断面形状としては, 面積充填率の高いもの (A_p の小のもの) が望ましいが, No. 2 では侵食燃焼のため初期圧力ピークが高くなりすぎるので, マンドレル No. 3 が最適と判断し, したがって, 実機用としては, $K_i=225$, $\phi_i=32\text{mm}$ を採用することにした。

再現性試験

以上のように設計値が決められたので, 厚肉エンジン2本, 薄肉エンジン8本によって再現性試験を行なった。なお, 同時期にノズル改良案を検討しうる段階になったので, その試験をかねさせた。第5表にその結果を示すが, 用いられたノズルは下記3種で, 構造材料は

第5表 再現性, ノズル試験

No.	日 付	ノズル	A_i	K_F	K_n^0	備 考
A-8-1*	39.10. 1	B	8.04	1.62	367	× 2.0 sec で破壊, ノズル不良
2*	39. 9.29	B	8.10	1.61	365	○
A-9-1	39.10. 1	C	7.95	1.65	371	○
2	39.10. 6	C	7.99	1.64	369	○
A-10-1	39.10. 6	B	8.15	1.61	365	× 2.5 sec で破壊
2	39.10.20	C	7.96	1.65	371	○
A-11-1	29.10.20	C	7.98	1.64	368	× 0.7 sec で破壊, 点火器不良
2	39.10.21	C	7.98	1.64	370	○
A-12-1	39.10.27	C	7.95	1.65	371	○
2	39.10.27	C	7.98	1.64	370	○

* この2本は厚肉シリンダによる燃焼試験で, 他は薄肉シリンダを用いた。

異っているが外部形状は等しくしてある (音響的特性に大きな差異を作らぬよう)。

ノズルA……鉄製金具に厚いグラファイトノズルがはめこまれたもの。

ノズルB……アルミニウム金具にフェノールレジン-アスベスト層がそう入され, その上に薄いグラファイトノズルがかぶせられている。

ノズルC……Bのレジン層を薄く, グラファイトを厚くしたもの。

なお, 全数が安定に燃焼することを期待したが, ノズル, 点火器の不良が原因して3例の異常がみられた。

フルサイズ試験

3/4 サイズエンジンがほぼ満身に作動することがわかったので, 推薬長をさらに延長することとし, まず厚肉でフルサイズ, 7/8 サイズの実験を行なった。なお, No. 3 マンドレルで全長を通すと初期圧力が高くなりすぎるので, ノズル端の free port area を大きくするため, 口径のやや大きい単孔部を No. 3 マンドレルにつき足すこととした。第6表にもあるように厚肉実験ではいずれも安定に燃焼することを確認したが, これを実機に移す際, 従来より懸念されていた諸点につき, 再検討を加えて改良を施すこととした。

1) 推薬に物性改良剤などを加えて伸び率を大きくする。

第 6 表 フル サイズ 試 験

No.	日 付	単孔部	A_t	K_F	K_n^0	備 考
A-13-1	39. 10. 29	70	11. 28	1. 62	332	○
2	39. 10. 29	50	11. 31	1. 62	335	○
A-14-1	39. 10. 31	30	11. 28	1. 62	298	○
2	39. 10. 31	30	11. 28	1. 62	298	○
A-15	39. 12. 15	50	11. 16	1. 64	341	× 3. 4 sec で振動燃焼発生
A-16-1	40. 1. 14	50	11. 25	1. 63	339	○
2	40. 1. 14	50	11. 25	1. 63	339	○
A-17-1	40. 2. 4	50	10. 23	1. 79	373	○
2	40. 2. 4	50	9. 67	1. 89	392	○
A-18-1	40. 2. 27	50	9. 68	1. 88	315	○
2	40. 2. 27	50	9. 68	1. 90	316	○
A-19-1	40. 3. 27	50	9. 61	1. 90	317	× 4. 25 sec で破壊
2	40. 3. 27	50	9. 61	1. 90	317	○
A-20-1	40. 3. 28	50	9. 72	1. 88	314	○
2	40. 3. 28	50	9. 70	1. 89	314	○

注 1. A-13 はフルサイズ厚肉, A-14 は 7/8 サイズ薄肉, A-15~20 はフルサイズ, 薄肉で実験した.

2. A-18~20 では推薬燃焼表面中, 単孔部に当る所を抑制剤で被い, 燃焼初期には不燃性とした.

2) 管状点火器を改め, 不燃性のかご型とする.

3) ノズルは前記 C 型に統一する.

4) 初期圧を下げる意味で, 推薬燃焼表面の一部に抑制剤をぬる.

以上の方針で行なった結果が第 6 表に示されているが, 振動燃焼が励起された 2 例を除けば, フルサイズエンジンでも安定に燃焼すること, およびこれら不安定燃焼の起った場合には, 推薬の伸び率がたまたま小さかったことなどが明らかとなり, 推薬物性値にある規格を定め, それに合格したものを用いれば, フルサイズエンジンは安定に作動するとの結論を得, 飛しょう試験への自信を深めることができた.

1966 年 5 月 4 日 原動機部 倉谷健治

I. 3 飛 しょう 試 験

1. 概 要

HT-110 型ロケットは, 昭和 40 年度第 2 次および第 4 次観測ロケット飛しょう実験計画の一環として, 合計 3 機の飛しょう試験が実施された. 第 2 次飛しょう実験では, 8 月 20~22 日のいずれかの日の午前中に 2 機, すなわち HT-110-1, 2 号機の発射を目標にして準備が進められた. 1 号機は主として飛行径路確認の目的でレーダトランスポンダを搭載し, 2