

サブオビ飛行 官民協議会 #05

サブオビ宇宙飛行機 & 宇宙港 開発および事業進捗状況報告

2023年12月8日

PDエアロスペース株式会社



1. 2023年実績／進捗

- 1) 開発進捗
 - 機体
 - エンジン
- 2) 事業進捗
 - 宇宙港
 - 事業アライアンス

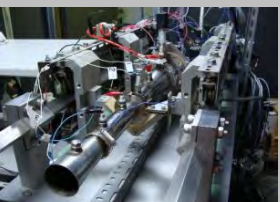
2. 今後

- 1) 技術ロードマップ
- 2) 制度上の課題

1-1) 開発進捗(開発ロードマップ)

~2017 | '18 | '19 | '20 | '21 | '22 | '23 | '24 | '25 | '30

【エンジン】



PDE



ジェット/ロケット燃焼
モード切替実験
(PDE-S)



【RDEへ開発シフト】

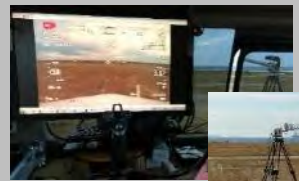
RDE (BBM)
RDE-S (X07)



【有人機】
X08, PEGASUS
'30年
有人サブオービタル飛行

無人機技術を基に大型化、高度化

【機体】



FPV、
追尾装置



通信距離 200km



宇宙港整備



X06

【サブオービタル無人機】

X07



【次期開発機】

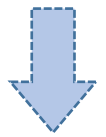
X09 PEGASUS-X



自動操縦
X03A



無人飛行技術実証
X02A, X04

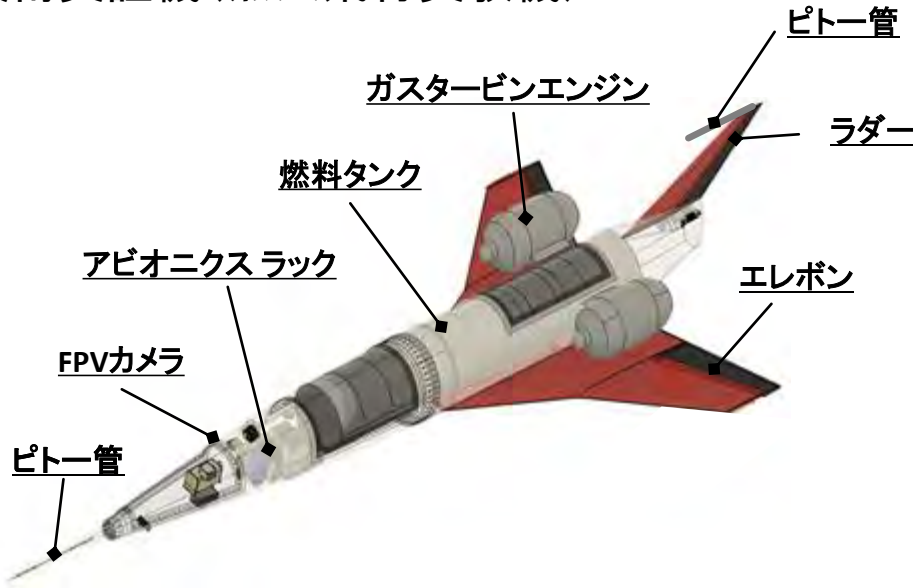


'25年

1-1) 開発進捗 / 機体開発

PDAS-X06

技術実証機 (無人飛行実験機)



機体諸元

機体種別	無操縦者航空機
識別番号	JX0163
機体総全長	4.9 m
全幅	2.4 m
最大離陸重量	400 kg
到達高度	8 km
巡航速度	240 km/h
最大マッハ数	M0.35
最大推力(計)	1.6 kN x2基
エンジン	ガスタービン x2基
燃料 / 搭載量	ケロシン / 80 L
飛行時間	30分未満
制御/操縦 (バックアップ)	地上から通信 / パイロット 自動操縦
構造材料	CFRP (炭素複合材)

1-1) 開発進捗／飛行試験へのステップ

Step 1

GT: Ground taxi Test
地上滑走試験

- ・低速 Taxi
- ・中速 Taxi
- ・高速 Taxi

Step 2

RT: Rotation Test
ローテーション試験

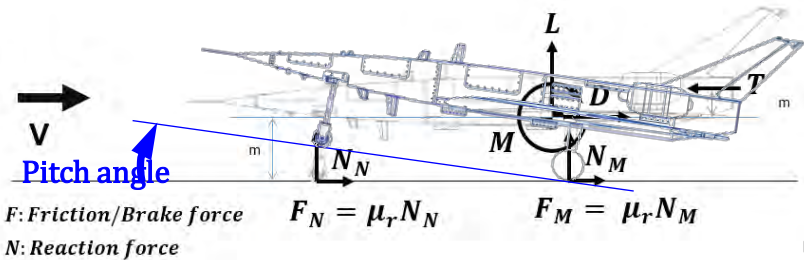
- ・低迎角
- ・高迎角

〔滑走中に操縦桿を引いて、機首を上げて、下ろす〕

Step 3

FT: Flight Test
飛行試験

- ・初飛行/離着陸
 - ・操縦特性
- など、計 8 FT



1-1) 開発進捗／飛行試験結果



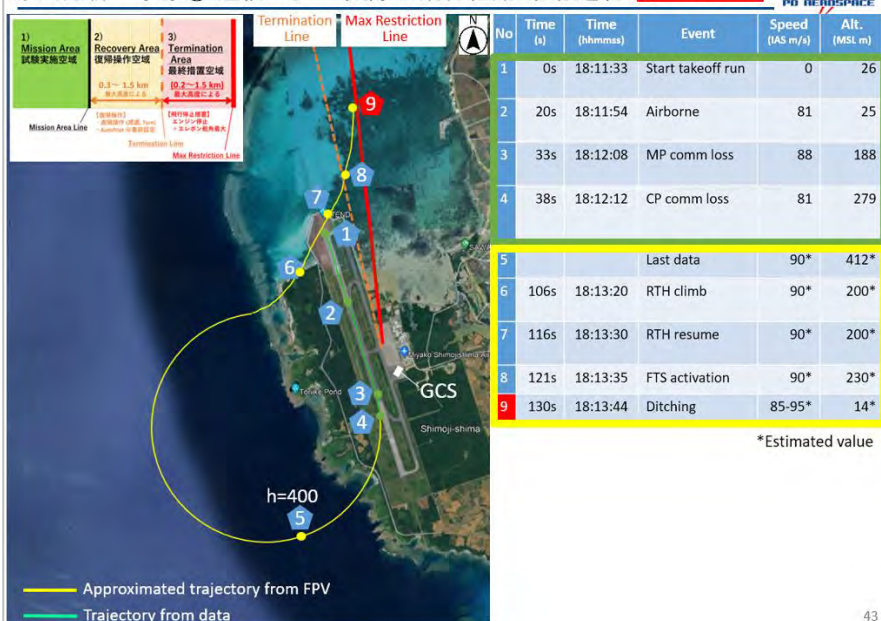
滑走、離陸：成功

- 上昇旋回中：通信途絶 (MPに続き、CPも)
- ⇒ 自動操縦モード作動、退避エリア"Z"へ
- ⇒ 自動飛行途中、飛行停止ラインを通過
- ⇒ 飛行停止モード作動 … エンジン停止
- ⇒ 失速、急降下
- ⇒ 着水



MP: Main Pilot, CP: Co-Pilot

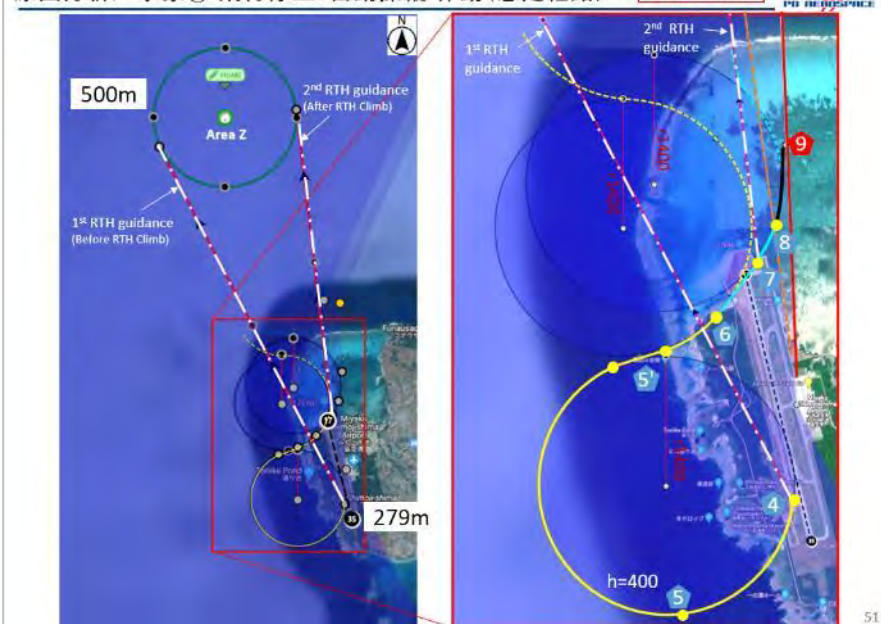
原因分析／事象① 通信エラー：実際の飛行経路 (仮説を含む)



対処の状況

被害有無状況	陸上：無し 海上：無し 航空：無し	人身：無し 環境負荷：残燃料流出(浮遊せず、拡散) (残燃料：約81L 推算値)
機体状態	<機体の状態確認の有無> 1. 有 2. 無 着水地点付近を捜索し、機体を発見。(水深2.5m) 機体損壊	<離陸時の機体状態> サイズ：全長4.8m×全幅2.4m 材質：炭素複合材 重量：288kg 燃料：ケロシン(タービンオイル4.5%添加)×80L 搭乗者：なし(無人機) 機体外観：(別添2) ※video:機体損傷
対処	発生直後、緊急事態発生時の連絡網に従って、各所に連絡。(上位より順次に連絡・請応答) 19時頃、捜索の為、出港(渡口の浜) 20時頃まで、着水地点付近を捜索するも、発見できず。(日没の為、捜索中断) ※浮遊物：見えず、オイル臭や焼臭など：感じず 明朝(29日)より、2隻にて再捜索予定 ⇒ 機体を発見(別添3)、機体部品引き揚げ/回収完了 ⇒ 未回収部品リスト (別添5) 7月6日 伊豆部漁協とmtg。沖縄県県庁 空海課へ状況説明。同 水産課へ事例確認と相談 ⇒ 水質分析結果：油分検出なし。(別添6) 7月7日「航空機事故調査対象」となり、同日から2日間、事故調査とアテンド@R&Dセンター(愛知県碧南市)	
発生原因(推定)	1次原因：① 操縦システムの通信途絶。(メイン、サブの2系統) ② その後の自動操縦モードに拠る緊急飛行停止装置(FTS)の作動 2次原因：① GCSのトラッキング装置が機体を追従できなくなった。(GPSデータ受信の遅延により)(別添7) ② 自動操縦モードの起動地点とエリアZの位置関係に拠る。FTSは、正常作動	

原因分析／事象② 飛行停止：自動操縦 作動(想定経路)



1-1) 開発進捗／機体開発 達成事項

		PEGASUSベース TRL								4						5	6	7	8	9			
		X07ベース TRL								1	2	3	4	5						6	7	8	9
ATA-100		X06ベース TRL								2	3	4	5	6	7	8							
ATA 22	自動飛行	達成 (進捗:100%)																					
ATA 23	通信	一部達成																					
ATA 96	テレメトリー	未達成																					
ATA 24	電力																						
ATA 27	空力飛行制御																						
ATA 28	燃料																						
ATA 32	着陸装置																						
ATA 34	ナビゲーション																						
ATA 53	胴体																						
ATA 57	主翼																						
ATA 115	フライトシミュレータ																						

達成度: 71%

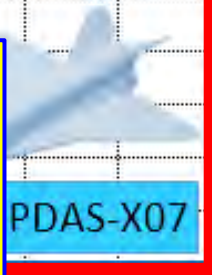


PDAS-X06

X06開発 目的 ⇒ 達成状況(成果)

- 1) 設計能力の確認 **Done**
- 2) 通信技術の確認
- 3) 操縦装置の確認 (自動操縦, フライトシム) **Done**
- 4) 一般空港で、飛行試験をする為の手続き (飛行許可取得を含む) **Done**
- 5) 安全体制の確認 (周辺調整を含む) **Done**
- 6) スタッフのトレーニング **Done**

- ・ X06 “全システム”に対して技術実証ができた。
- ・ X06開発の達成度: 71%
 - ⇒ X07開発に必要な最低限の技術を取得。移行可。
- ・ 但し、通信系、テレメ系は、検証と改善が必要。
 - ⇒ 個別で技術実証を進める。(専門メーカーと協業予定)
- ・ X07開発に向けて、「J/R切替エンジン」の開発を進める。



PDAS-X07

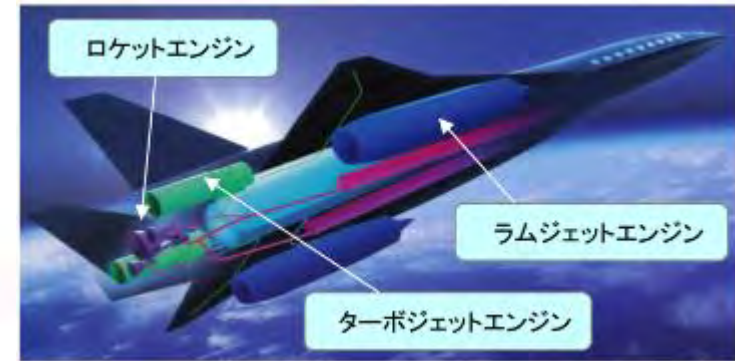
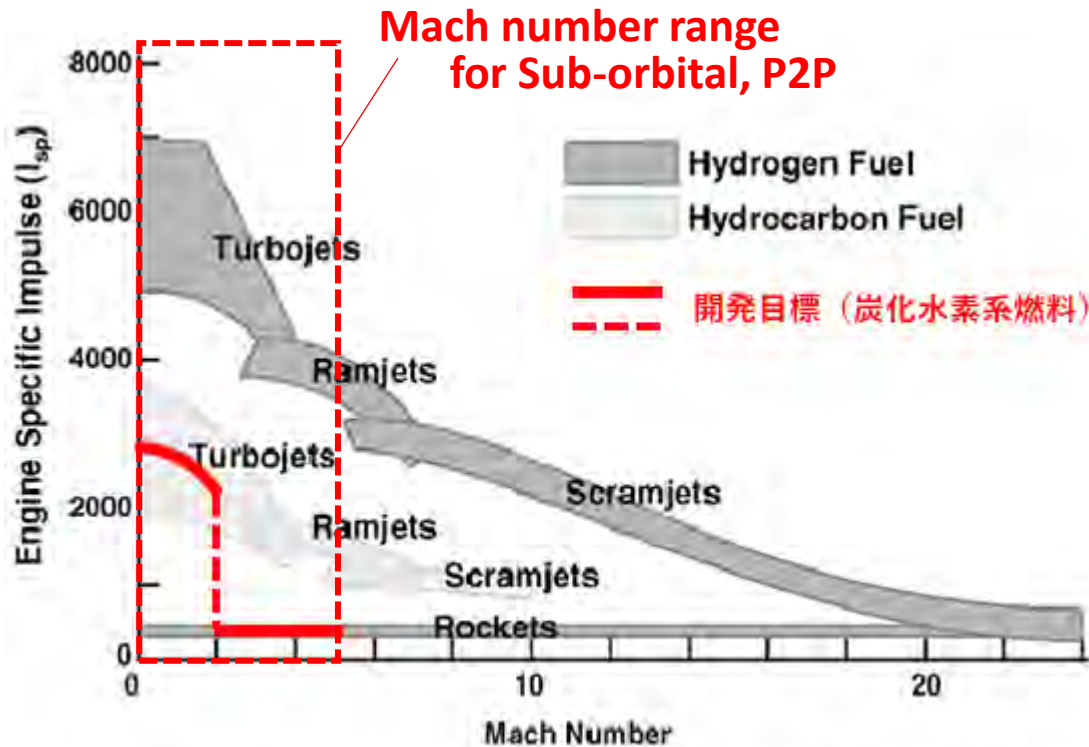


PDAS-X08

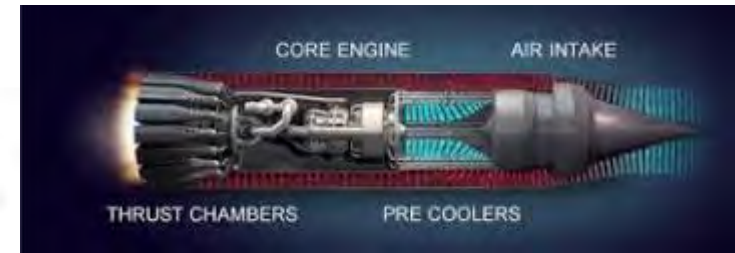
PEGASUS

1-1) 開発進捗／エンジン開発ターゲット

- Pure rocket
 - a) Multi engines
 - Separation (Air launch)
 - b) Combined cycle
 - c) Mode switching
- Falcon9 - Crew Dragon
 - ZEHST
 - WN2 x SS2
 - SABRE
 - PDエアロスペース



1) Multi / ZEHST

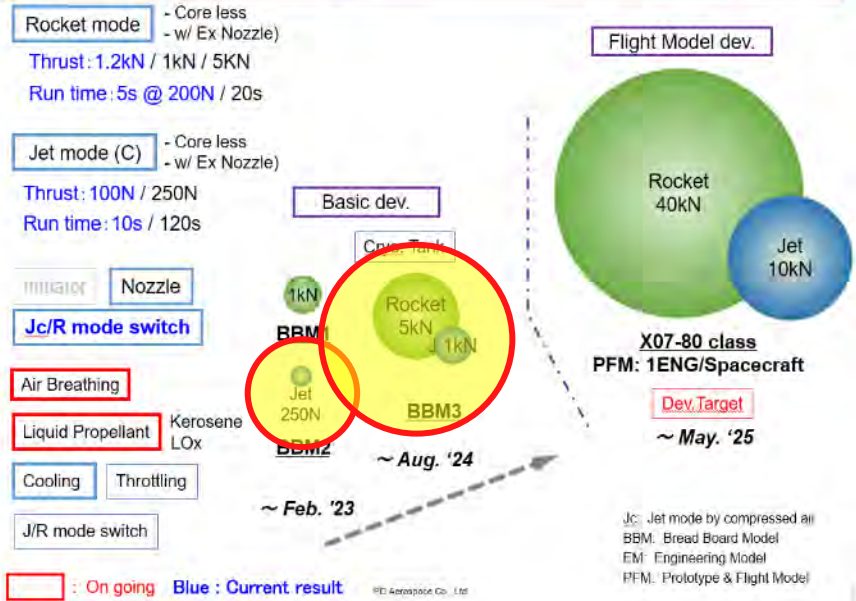


2) Combined / SABRE

1-1) 開発進捗／エンジン開発状況

RDE Development Road Map for X07

Confidential



【取り組み事項】

1) 液体燃料 x 液体酸化剤 [BBM1]

目標: R推力 1kN/1s (再現)

現状: RDE安定燃焼 2s達成

2) 空気吸い込み化 [BBM2]

目標: 空気吸い込み (ターボ機構)

現状: 構想図完成 ⇒ 図面化

3) ワンパッケージ化 [BBM3]

目標: R推力5kN/10s, J/R切替

現状: RDE-R 燃焼試験へ

4) 燃焼試験設備

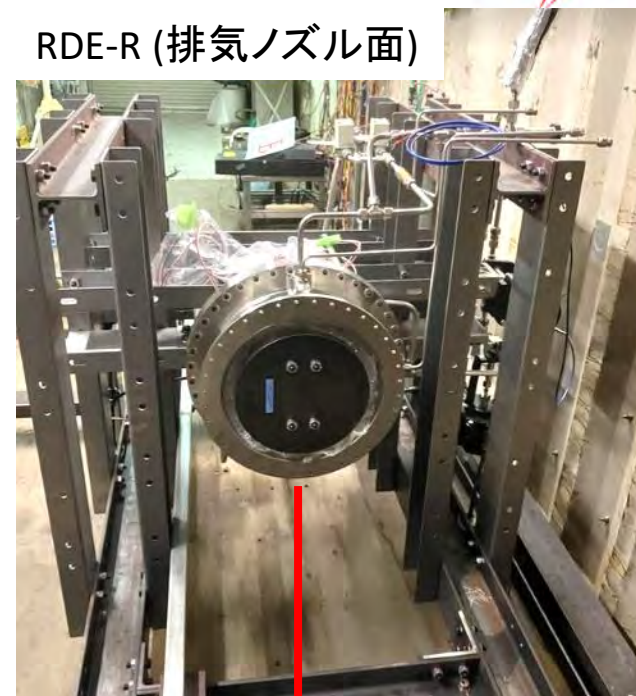
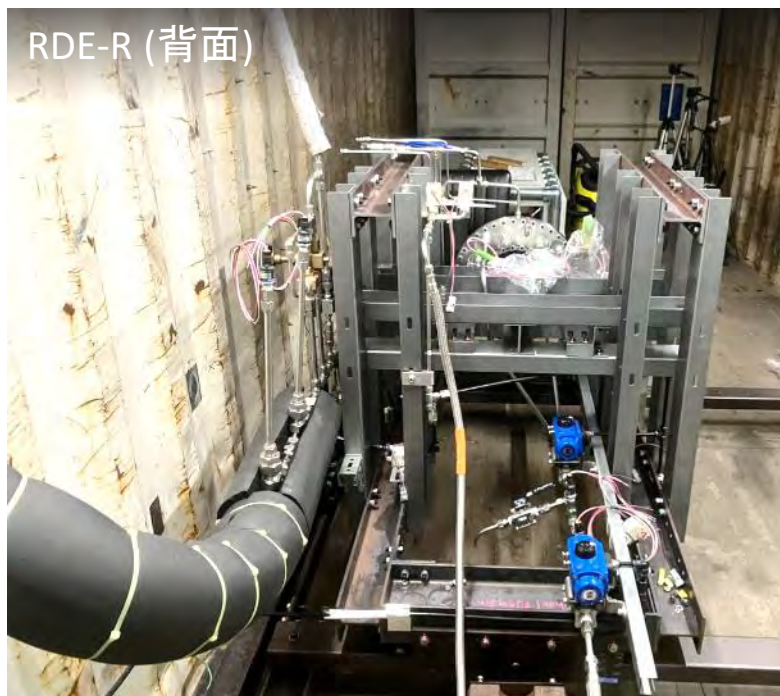
目標: 安全強化、騒音抑制

現状: トライ結果: 良 ⇒ 改良版へ

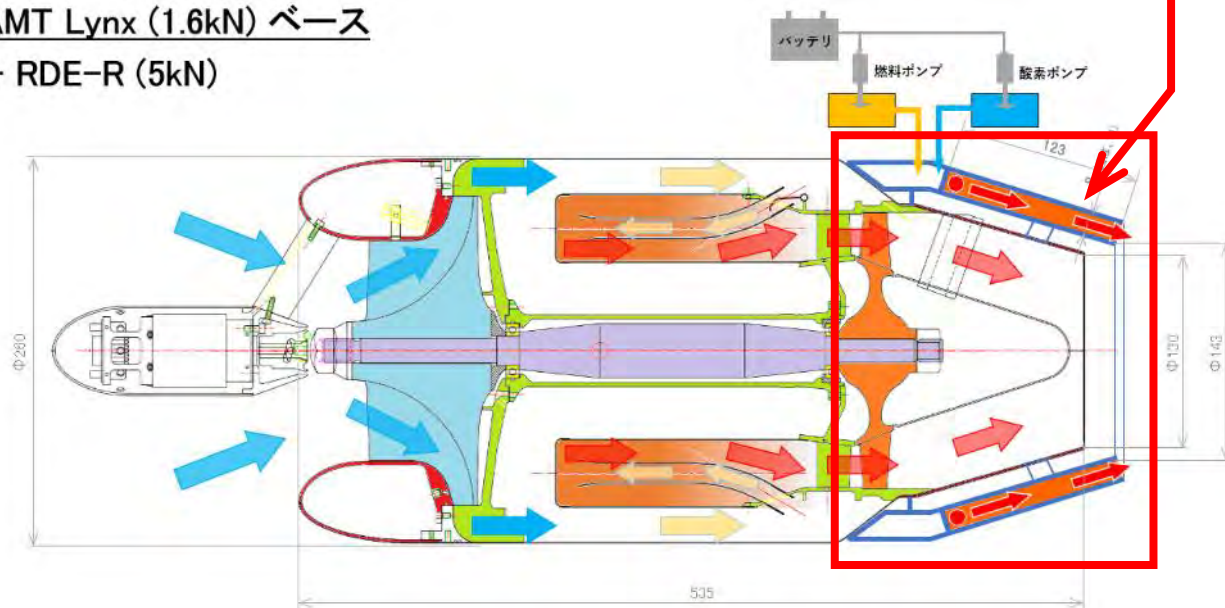


RDE KRS x LOx 燃焼

1-1) 開発進捗／ジェット・ロケット切替エンジン(Combinedタイプ)現況



AMT Lynx (1.6kN) ベース
+ RDE-R (5kN)



1. 2023年実績／進捗

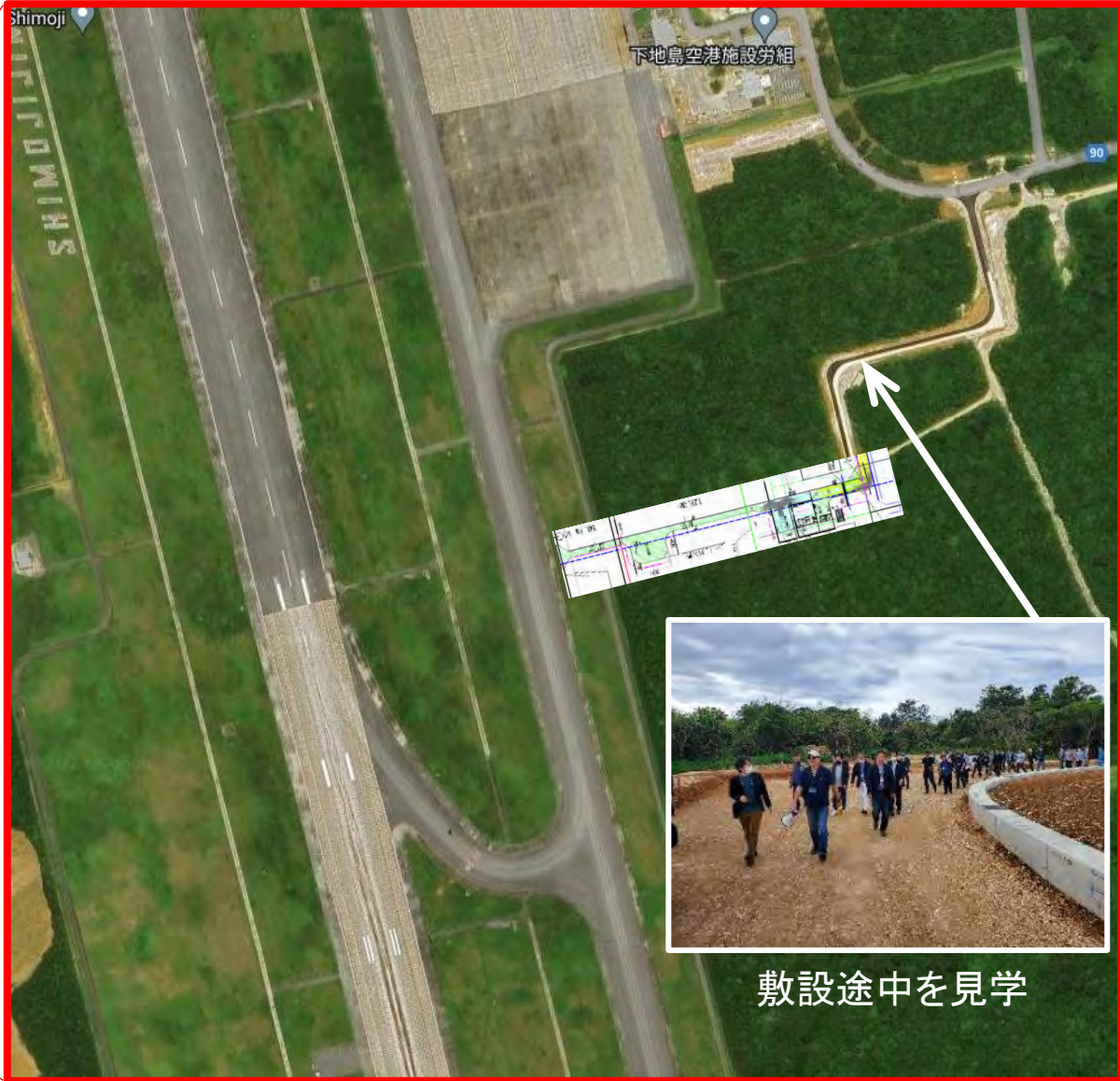
- 1) 開発進捗 - 機体
- エンジン
- 2) 事業進捗 - 宇宙港
- 事業アライアンス

2. 今後

- 1) 技術ロードマップ
- 2) 制度上の課題

1-2) 事業進捗／下地島宇宙港(ハンガー1建設 (for X07))

沖縄県に拠る"アクセス道路"敷設('23年度分完了)



1-2) 事業進捗／宇宙輸送事業にかかる検討項目【10テーマ20項目】

10テーマ	20項目	主な検討対象事項	候補
1 A)計画	1. 事業計画	事業モデル、スケジュール、コスト構造、事業アライアンス	--
2 B)プロモ	2. プロモーション	販売企画、広告	未
3 C)サービス	3. 商品内容	含まれるもの、前後当日のスケジュール、特典、飛行そのもの	○
	4. 顧客対応	実施前後、当日 ※先行販売時含む	○
4 D)販売	5. 販売方法	販売ルート、条件(キャンセルポリシー含)、時期、準備物、販促	○
	6. 販売	販売オペレーション	○
5 E)運航	7. 運航管理	運航計画、オペレーションマニュアル、安全管理	○
	8. クルー	パイロット/キャビンクルーの教育訓練、操縦マニュアル	○
	9. 機内装備	シート、機内服、緊急設備、操縦室、客室	○
	10. 機体整備	ライン整備、ドッグ整備、施設整備、運用オペレーション	○
6 F)メディカル	11. メディカル	訓練(0G, HighG)※設備、身体検査、Gライン、販売条件との整合性	△
7 G)保険	12. 保険	第三者、搭乗者(クルー、参加者)/パイロット、自機、設備、キャンセル保険	○
8 H)法規	13. 適用法律	サブオビ飛行(無人:済み、有人:未)	--
9 I)宇宙港	14. 建設	ハンガー、接続路、関連施設・設備	○
	15. 環境整備	沖縄県の利活用事業 遂行	○
	16. 事業検討	事業(実験、テナント、訓練、観光)、実施体制、事業推進コンソ	△
	17. 他拠点展開	国内、海外 ※適用フェーズ考慮要	未
10 J)機体	18. 機体開発	諸元、性能、パイロット、飛行条件、飛行プロフィール ※製造、試験	○
	19. 外部接続	搭乗ゲート、ドッキングベイ	未
	20. 量産	生産体制構築、サプライチェーン検討／構築	△

機体/技術開発だけでなく、
事業実施に向けた取組を
展開中

- ・事業アライアンス
- ・"侍"サプライチェーン

関係する**自治体との連携**

- ・中部地区
- ・沖縄地区

○:候補有、△:候補案あり、未:候補無し、--:PDAS

1. 2023年実績／進捗

- 1) 開発進捗
 - 機体
 - エンジン
- 2) 事業進捗
 - 宇宙港
 - 事業アライアンス

2. 今後

- 1) 技術ロードマップ
- 2) 制度上の課題

2-1) 今後「技術ロードマップ」策定(w/JAXA) : 機体システム

2021 2021 2023 2026頃 2030頃 2040頃 2050頃

サブオービタル

事業ステージ1

X06 小型無人技術実証機

- FPV技術
- 通信技術
- 空港でのオペレーション

X07 無人サブオビ機 (商用) 万円/100kg

X08 有人サブオビ機 (商用) 万円/人

- 高効率エンジン技術
- 飛行制御技術/リエントリ
- 有人技術
- 再使用性技術
- 飛行機

事業ステージ2

X08-L 大型有人サブオビ機 (商用) 万円/人

- 大型化/構造技術
- 居住性技術 (飛行機)

高速二地点間 (P2P)



JAXAとmtg (合宿)

機体転用

機体転用

X08-ELR 無人P2P技術実証機

- 飛行制御技術
- 長距離化

X09 有人P2P機 (商用) 万円/人(100kg)

- 飛行制御技術 (大型機)
- 長距離化

オービタル (SSTO)

機体転用

機体転用

飛行形態	ペイロード	開発No.	全長	全備重量
サブオビ	無人100kg	X07	9m	3t
サブオビ	有人6名	X08	34m	53t
サブオビ	70名	X08-L	70m	467t
P2P (B式)	35名	X09	70m	(TBD)
オービタル	35名	X10	70m	(TBD)

X08-ORBT 無人SSTO技術実証機

- 飛行制御技術/軌道
- 飛行制御技術/リエントリ
- 開発環境整備
- 燃料/カーボンニュートラル
- 電力/電池技術
- ランデブー&ドッキング機構

X10 有人SSTO機化 (商用) 万円/人(100kg)

- 軽量化/構造技術
- 耐熱, 耐放射線, 耐デブリ/構造技術
- 再使用性検査技術

2-1) 今後「技術ロードマップ」策定(w/JAXA) : 推進システム



B) 革新的宇宙輸送実現に必要なシステム技術

- 推力重量比・再使用運用性が高い推進システム
- ・新しい熱サイクルによる幅広い速度・高度レンジに適用できる高比推力航空宇宙エンジン

研究目上記技術課題の解決のために、本研究では、技術要素毎に以下の目標を設定する。

	現在	2023年	2026年	2030年	2040年
対象	既存技術値	FS N/A	無人サブオビ機 3t	有人サブオビ機/6名 53t	有人オービ (467t 仮)
推重比	20-100 --	---	20	40	40
比推力	470 s	280s	300s	—	—
高推力	---- kN	5kN	40kN/機		
長寿命	5,000 h	0.1h	50h	100h	1,000h
速度域	----	N/A	M3.2	—	—
高度域	----	N/A	> 80km	—	LEO 500km
切替化	ATRIUM	BBM/EM	PFM	FM	FM

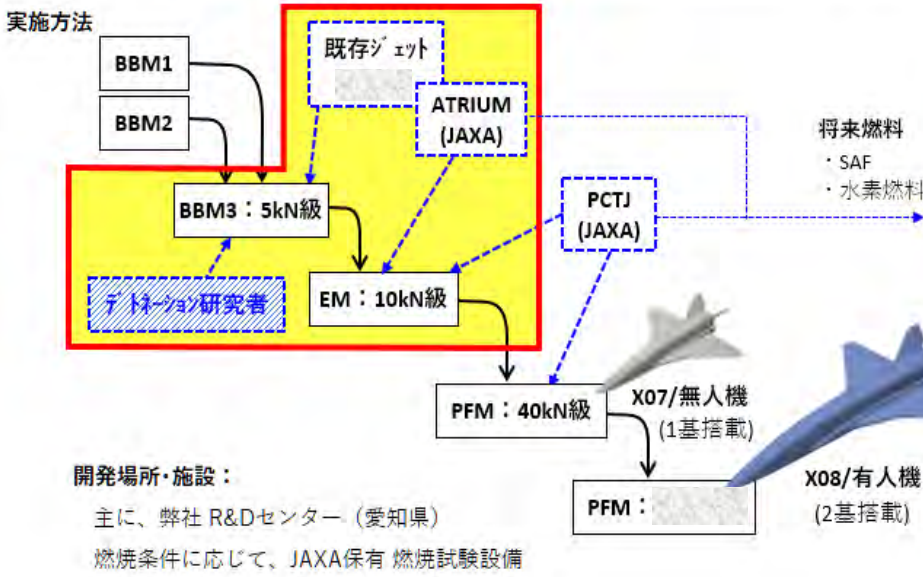
All Japan Detonation Engine R&D Team 「Team D」

所属	氏名 ※敬称略	本開発での役割/テーマ
大学		
1 慶応義塾大学	松尾 亜紀子	RDE-R燃焼器/出口形状を考慮した数値シミュレーション
2 東海大学	水書 稔治	RDE-R/RDE-J 燃焼状態の判定、ならびに可視化
3 名古屋大学	笠原 次郎	空気吸込みRDE-Jの設計
	松岡 健	RDE-R/RDE-Jの優位性検討
	伊東山 登	
4 横浜国立大学	石井 一洋	同上
5 埼玉大学	前田 慎市	同上
JAXA		

切替エンジン開発ステータスMap

(Base schedule is updated on Sep 5, 2022) As of 3 Dec, 2023

Phase	Dev. Target / Goal	s1 s2 s3 s4 s5 s6 s7 s8 s9									s10 target						
		sub	s1	s2	s3	s4	s5	s6	s7	s8	s9	Dec	Jan	Feb	Mar		
BBM1	性能	1-1. 1kN (R)	自社対応中														
	要素	機能	1-2. Liquefaction	自社対応中													
		1-3. → 1kN (R)	自社対応中														
		1-4. Cooling sys	自社対応中														
BBM2	機能	2-1. Air Breathing														31	
	AirBirth化	2-1'. 1.2kN (J)														30 Apr, 2024	
BBM3	パッケージ化	2-2. Throttling														31 May, 2024	
	性能	3-1. TDM															
機能		3-2. Mode switching														31	
	⇒ EM	性能	3-3. 5kN (R)													15	
性能		3-4. 1.2kN (J)														30 Jun, 2024	
機能	3-5. Mode switching															31 Oct, 2024	
	性能	3-6. 10kN (R)														31 Dec, 2024	
性能	2.5kN (J)															31 Dec, 2024	
	3-6. FADEC															31	
PFM	性能	4-1. 40kN, 120s (R)														31 May, 2025	
	搭載化	4-2. 10kN, 60m (J)														31 May, 2025	
	性能確認	機能	4-3. FLCC連動														31 May, 2025
		4-4. 高高度口バスト															31 May, 2025
		4-5. エマー対応															31 May, 2025



新あいち創造研究開発補助金

(JAXA共同研究 提案中)

2-2) 今後／制度上の課題

今後の航空宇宙機開発のスピードを落とす制度上の主な課題(= 改善すべき事項)

※特に、水平離発着方式の機体に対する

- 1) "飛行許可"の取得に非常に多くの時間と労力を要する。
- 2) 無線/電波の周波数帯と出力の制約が多い。
 - ・ドローン用(低出力)しか割り当てがない。
 - ・一方で、ADS/トランスポンダ(高出力)の搭載が求められる。
- 3) 試験前に、十数か所に電話する必要がある。
 - ・警察、消防、海保、自治体、保険会社、組合、管理事務所、、、
- 4) "地上滑走許可"を出すところが無い。(飛行許可のみ)
- 5) "指令停止"も、「事故」扱いとなる。

試験指定エリア内では、自由度を持たせた運用ができるようにすべき
or 自由度を持たせた運用ができる試験指定エリアを設けるべき

Be a wing for Space

～ 宇宙への翼 ～

