

2. L 空中発射システムの研究開発 (終了時評価)

製造産業局航空機武器宇宙産業課宇宙産業室
一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

2. L. 1. 空中発射システムの研究開発概要

概 要	将来の小型衛星の需要増大、普及促進に寄与する、空中発射システムの構築及び運用に不可欠な、航空機からのロケット分離に係わる技術や、将来の事業化を見据えた低コスト化に係わる基盤技術の開発を行う。また、民間打ち上げサービス事業展開に必要な法規制等に係わる調査を行う。 ①空中発射システム運用構想、②ロケット搭載/分離、③運用管制技術、④小型搭載電子機器技術、⑤法規制等の調査
実施期間	平成21年度～平成26年度（6年間）
予算総額	8.4億円（委託） （平成21年度：0.7億円 平成22年度：1.5億円 平成23年度：1.5億円 平成24年度：1.5億円 平成25年度：1.3億円 平成26年度：2億円）
実 施 者	一般財団法人 宇宙システム開発利用推進機構（略称：J-spacesystems）

2. L. 2.事業の目的・政策的位置付け

事業の目的

- 近年、超小型周回衛星群による画像、インターネット等のサービス展開計画が進んでおり、また、宇宙新興国においては、災害対策の一環として地球観測衛星等の打上げ需要が拡大しており、今後ますます小型衛星等の打上げビジネスが活発化していくことが予想される。
- 現在の打ち上げ市場には超小型周回衛星に対応する小型ロケットが存在していないことから、低コスト、高効率かつ機動的に小型衛星を打上げることができる先進的打上げシステムを確立することにより、海外衛星打上げ市場における優位性を獲得し、小型衛星の打上げビジネスに係る国際市場の獲得を目指す。

政策的位置づけ

新成長戦略や産業構造ビジョン、宇宙基本計画において、小型衛星の海外市場獲得、小型衛星の打上げ需要増加に伴う打上げ手段の確保等を目的として、低コスト、高効率かつ自由度の高い打上げ手段である空中発射システムの確立は、非常に重要な位置づけになっている。

小型衛星の打上げ需要増加
小型衛星の海外市場獲得

低コスト、高効率、自由度の
高い打上げ手段

空中発射システムの研究開発

空中発射システムの研究開発目的

小型衛星の需要が拡大していく中で、従来より低コスト、高効率かつ機動的に小型衛星を打上げることができる先進的打上げシステムを確立することにより、海外衛星打上げ市場における優位性を獲得し、小型衛星の打上げビジネスに係る国際市場の獲得を目指す。

類似事業との比較



<空中発射>

開発主体: 経済産業省

打上価格: 10億円以下を目標

打上射場: 空中

打上能力: 太陽同期(高度500km) 150kg



<イプシロン基本形>

開発主体: 文部科学省

打上価格: 38億円以下を目標

打上射場: 内之浦

打上能力: 太陽同期(高度500km) 450kg

2. L. 3.目標

要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
1. 空中発射システム運用構想	空中発射による衛星打ち上げ及び運用の構想検討を行い、技術的成立性があり、将来の打ち上げ事業展開に資する低コストな空中発射システム運用構想を策定する。	将来、需要が見込まれる小型衛星の打ち上げが可能な打ち上げシステムとする。 我が国には空中発射システムの開発実績がないことから、空中発射システムの運用に必要な構成システムを明らかにし、その技術的課題を抽出する。
2. ロケット搭載/分離技術	空中発射システムに不可欠な、航空機にロケットを搭載する技術、高々度飛行中の航空機からロケットを安全に分離する技術、分離されたロケットの正常な飛行が可能なロケット点火のための姿勢確保に係わる技術を確認する。 また、投下技術の実証に必要な投下システムの設計、投下シーケンス及び投下試験計画について安全審査を含む詳細設計審査を終了させる。	飛行中の航空機からのロケット投下は、通常の物量投下の制約を遙かに超えた投下高度、大型重量物となることから、ロケットを搭載した航空機の飛行、ロケットの投下、ロケットの点火等から航空機及び乗員の安全が確保できる投下システムの設計、投下手順が求められる。 また、分離されたロケットの点火時の姿勢が衛星打ち上げの成否や分離した航空機の安全確保に繋がることから、分離後のロケットの姿勢を確保する必要がある。
3. 運用管制技術	空中発射システムのメリットを最大限に引き出すとともに、将来の打ち上げ事業展開に不可欠な低コスト運用のため、地球局に依存しない運用管制として、ロケットの自律飛行と商用衛星を利用した飛行管制技術の検討を行い、技術課題を抽出し、対処方法を明らかにする。	空中発射のメリットは、打ち上げ効率の向上のみならず、打ち上げ場所、飛行経路の自由度が高いことにある。そのために、現在は地上の地球局から連続して飛翔体を追跡する打上げ管制を行っているが、地球局を必要とせず、自由に打上げ場所、飛行経路を設定できる管制方式が必要である。
4. 法規制等調査	空中発射システムの実現に係わる、現行の国内法規制等の制約を整理する。 また、諸外国における民間打ち上げ事業展開に係わる法規制の洗い出しを行う。	宇宙活動の展開には、宇宙空間とその利用に関する国際法規則(宇宙法)の順守が必要であるが、我が国は宇宙法の批准国で有るにもかかわらず、国内法の整備が遅れており、民間宇宙活動の制約となっている。
5. 小型搭載電子機器技術	ロケット搭載電子機器の小型、軽量、低コストに必要な方策を明らかにする。	我が国のロケット開発が、短期間でのシステム開発と開発経費の削減に力点が置かれていたことから、諸外国と比較し電子機器の小型/軽量化等の基盤技術において、大きく後れを取っている。特に小型ロケットにおいては、打上能力に大きな影響を与えることから、早急な対応が必要である。

空中発射システム的方式

航空機に衛星を搭載したロケットを積載し、安全な公海上の高々度から分離
航空機の退避後、ロケットに点火し衛星を打ち上げ

超音速ズームフライト方式

ロケット分離

- ・高度: 約15km
- ・速度: 約Mach 1.5



メリット

- ・射場不要
- ・安全性向上(公海上打ち上げ)
- ・打ち上げ場所の自由度向上
- ・打ち上げ効率向上(高々度打ち上げ)

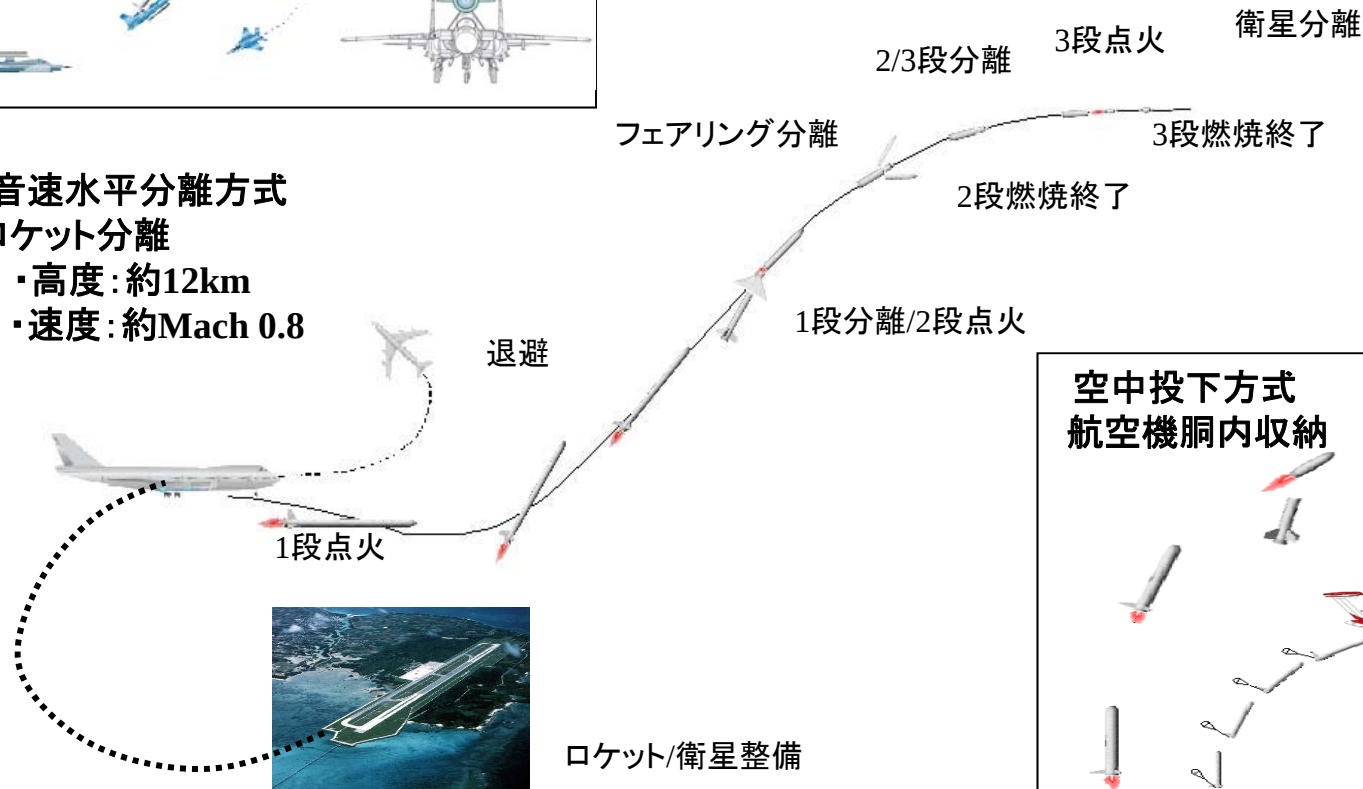
デメリット

- ・航空機の搭載質量、形状制限
- ・航空法による爆発物の搭載禁止

亜音速水平分離方式

ロケット分離

- ・高度: 約12km
- ・速度: 約Mach 0.8



空中投下方式 航空機胴内収納

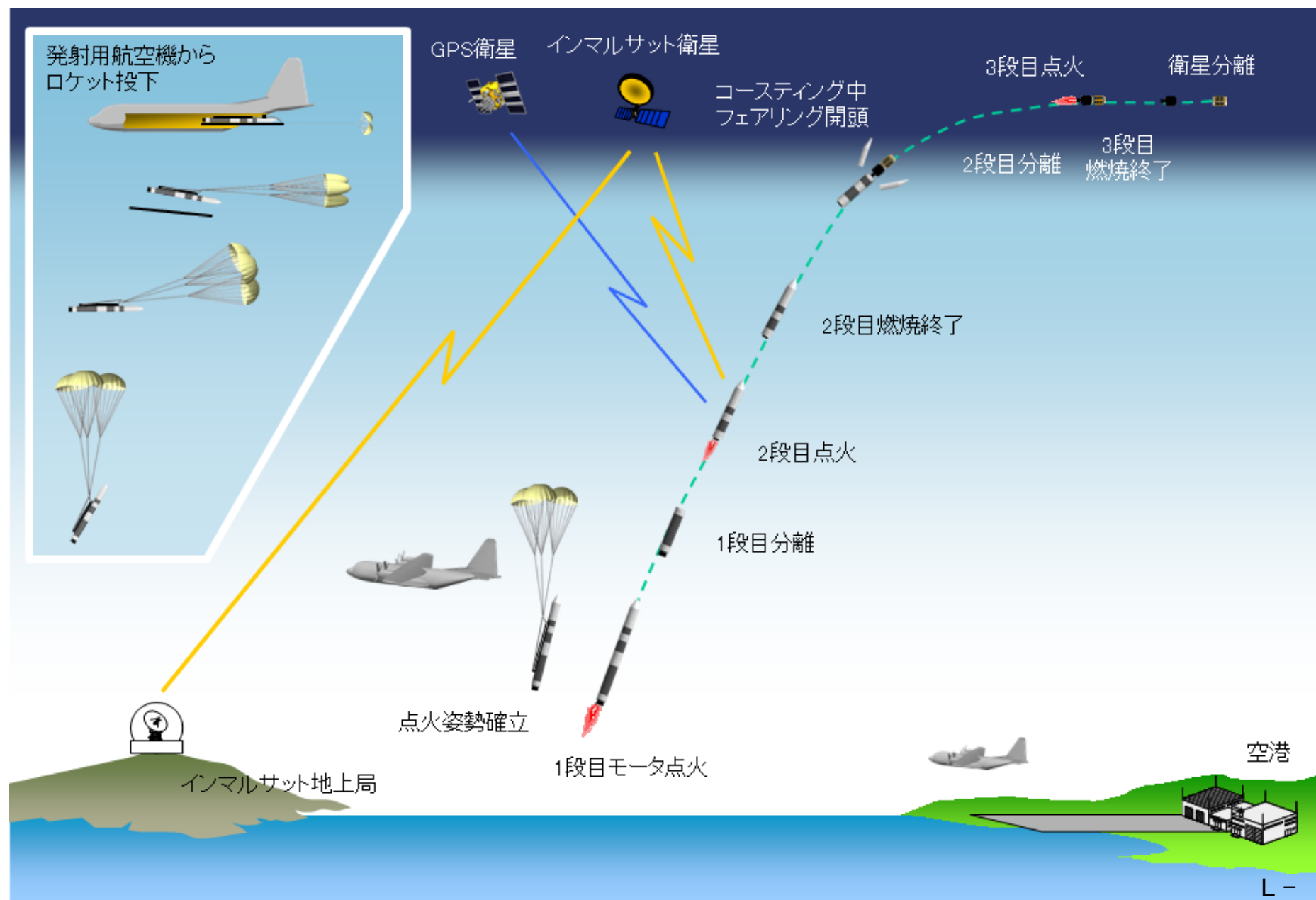
ロケット分離

- ・高度: <10km
- ・速度: ≥ 0

2. L. 4.成果、目標の達成度

要素技術	目標・指標	成 果	達成度
1. 空中発射システム運用構想	空中発射による衛星打ち上げ及び運用の構想検討を行い、技術的成立性があり、将来の打ち上げ事業展開に資する低コストな空中発射システム運用構想を策定する。	打上能力150kg（高度500km極軌道）の空中発射システムとして、輸送機を使用した投下方式、自律飛行、衛星経由の飛行管制方式など、将来の衛星打ち上げ市場参入を目指した、整合性のある空中発射システム運用構想を策定し、開発課題を明らかにすることができた。	達成
2. ロケット搭載/分離技術	空中発射システムに不可欠な、航空機にロケットを搭載する技術、高々度飛行中の航空機からロケットを安全に分離する技術、分離されたロケットの正常な飛行が可能なロケット点火のための姿勢確保に係わる技術を確認する。 また、投下技術の実証に必要な投下システムの設計、投下シーケンス及び投下試験計画について安全審査を含む詳細設計審査を終了させる。	将来の民間による商業打ち上げ市場参入を図るために、C-130輸送機を使用したPDS方式を選定した。本方式に基づいた、打上能力解析において、150kg以上の打上能力が達成できることを確認した。 また、技術の実証を行う、ダミーロケットを使用した高空落下試験の試験計画を策定した。 本項目の検討に当たっては、米国の国際武器取引規則(ITAR: International Traffic in Arms Regulations)に基づき、米国国務省の許可を受け、必要な情報の提供受けるとともに、投下システムの安全審査を受け問題ないことが確認された。	達成
3. 運用管制技術	空中発射システムのメリットを最大限に引き出すとともに、将来の打ち上げ事業展開に不可欠な低コスト運用のため、地球局に依存しない運用管制として、ロケットの自律飛行と商用衛星を利用した飛行管制技術の検討を行い、技術課題を抽出し、対処方法を明らかにする。	自律飛行のためのGPS/INS複合航法システムについて、技術課題を抽出し対応策を明らかにすることができた。 また、ロケットの状態監視及び指令破壊信号の創出を可能とする衛星経由の通信システムとして、インマルサット社が開発中の低軌道周回衛星用の通信端末をロケット用に改修することとして検討行、改修に係わる技術課題を抽出し対応策を明らかにすることができた。	達成
4. 法規制調査	空中発射システムの実現に係わる、現行国内法規制等の制約を整理する。 また、諸外国における民間打ち上げ事業展開に係わる法規制の洗い出しを行う。	空中発射システムの運用を航空法での対応で実施する場合の課題を明らかにすることができた。 また、民間打ち上げライセンスに係わる米国の状況等を明らかにすることができた。	達成
5. 小型搭載電子機器技術	ロケット搭載電子機器の小型、軽量、低コストに必要な方策を明らかにする。	アビオニクス的小型軽量化として、搭載電子機器の統廃合、機体ハーネス質量の軽量化のため機器間にシリアル通信の適用、電力制御装置の小型軽量化方策を示した。 また、投下したロケットの点火方法の一つとして、無線による点火方式の可能性を示した。	達成

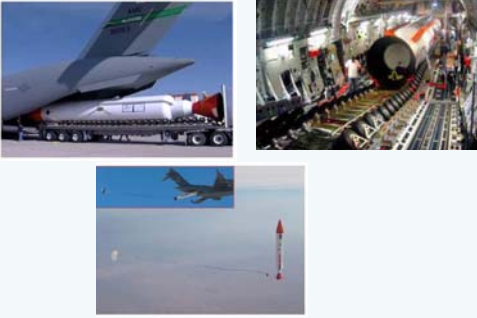
空中発射システム運用構想案



空中発射方式のトレードオフ

空中発射方式	亜音速 水平発射方式	超音速 ズームフライト方式	空中投下方式
付 図			
航空機改修	ロケットを航空機の外部に搭載するための機体改修が必要		物料投下を使用される方式で、機体改修は最小
飛行性能への影響	航空機の機体外部にロケットが就くことから、飛行性能の検証が必要 航空機の機種、ロケット形状毎に個別の検証が必要		カーゴ内への搭載することから、飛行性能の検証不要
150kg衛星 打上ロケット 極軌道500km	12tonクラス	9tonクラス 通常の戦闘機の下部では搭載不可 機体上部への搭載が必要	15tonクラス
その他の 開発リスク	外部搭載のため、飛行中に気象の影響有り ロケットに主翼が必要	外部搭載のため、飛行中に気象の影響有り 上部への搭載は、緊急脱出・空中給油などの機能を阻害	投下後の点火姿勢の確立 投棄物が発生
総合評価	△ 航空機の改修が必要で、使用する航空機が特定される	△ 航空機の改修が必要で、使用する航空機が特定される	○ 航空機の改修がほとんど不要 航空機の機種やロケット形状等の変更に柔軟

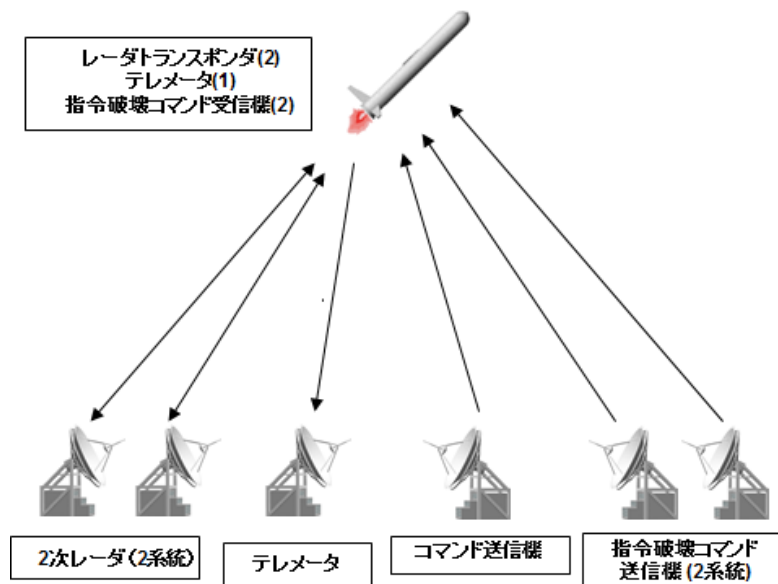
投下方式のトレードオフ

投下方式	GAL方式 (Gravity Air Launch)	射出方式	PDS方式 (Platform Delivery System)
特 徴	輸送機の胴体内にロケット設置された投下器材を搭載し、輸送機の機首を上げることによりロケットは自重で投下機材上のローラ上を滑り投下される。	サイロ方式のミサイル発射と類似の技術であり、ロケットが搭載された円筒(サイロ)を輸送機内に設置し、ガス圧によりロケットを放出する。	物料投下を使用されるプラットフォーム上に投下物を固定し、プラットフォームごと航空機から抽出傘により投下する。
イメージ	米国QuickReachの例 	ロシアPolyotの例 	物料投下の例  プラットフォーム 後部ドアからの投下
実績/検討例	米国: QuickReach ロケット 質量32ton 全長/径 20×2.2m 航空機 C-17 分離 高度10km、 速度Ma0.6	ロシア: Polyot ロケット 質量100ton 全長/径 32×3.2m 航空機 An-124 分離 高度10km、 速度 Ma0.6	米国: ミートマン ロケット 質量32ton 全長/径 18×1.67m 適用航空機 C-5A 分離 高度6km
評 価	△ C-17での実績しかなく、他の機種ではロケット投下時の機体との干渉や飛行性能への影響確認が必要	△ 投下時の機体との干渉や飛行性能の影響確認が必要 別途、射出装置が必要	○ 標準プラットフォームのタイプ別制約(質量、重心、形状)遵守により、多種の機体適用が可能

運用管制システム

現状

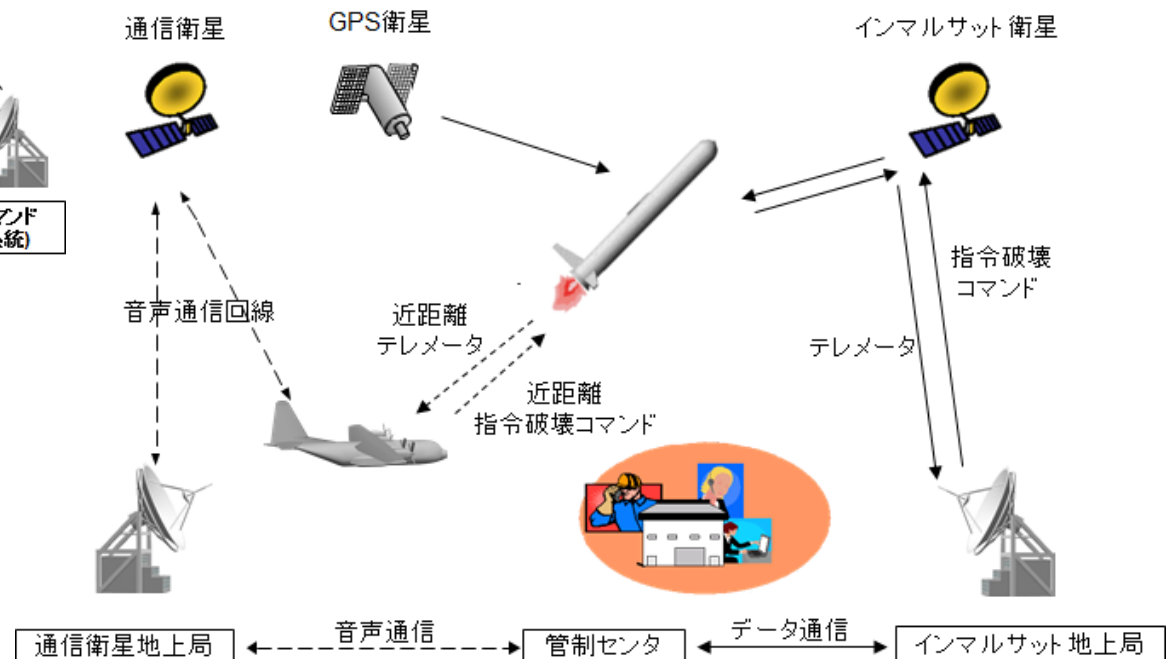
専用の地上局からの追跡管制



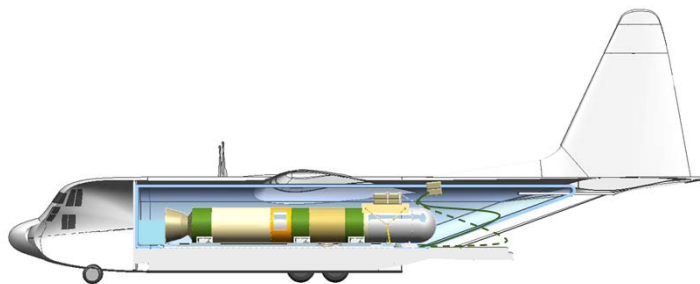
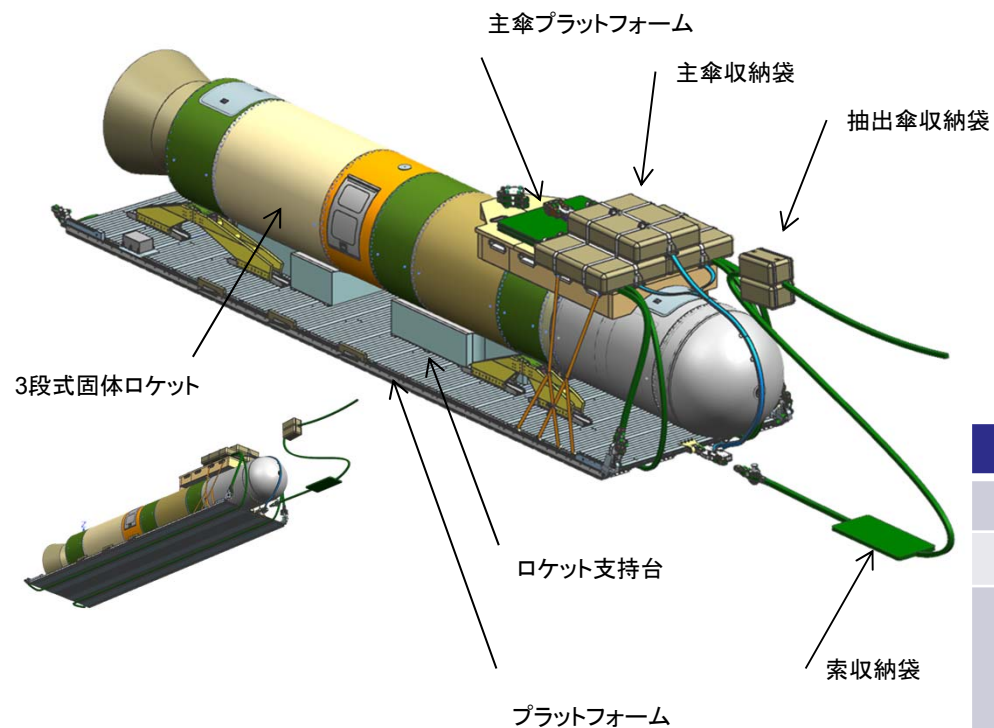
将来

専用の地上局に依存しないで通信衛星回線を利用

- ・ GPS受信機、慣性航法システムを搭載し、飛翔体の自立化を図る。
- ・ インマルサット衛星の通信回線を使用し、飛行状況のモニタを行うとともに、地上からのコマンド送信を可能とする。

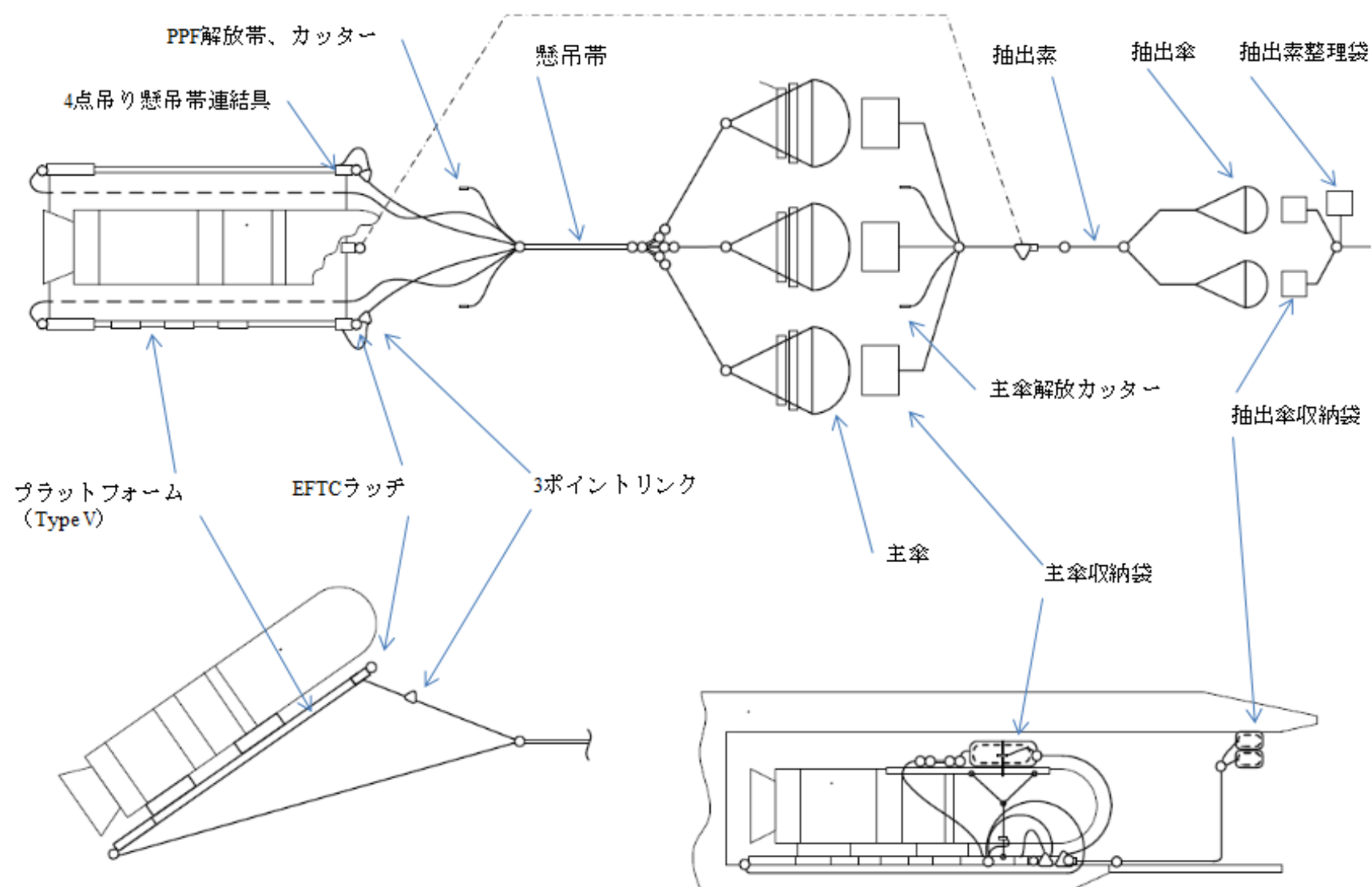


投下システム



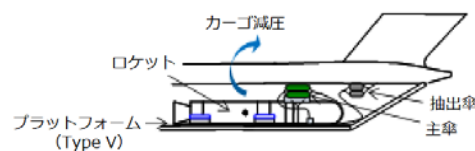
N0	項目	質量(kg)	備考
1	衛星+マージン	350	
2	3段式固体ロケット	15,000	Φ 1.5 × L 11 m
3	投下システム		
	プラットフォーム	1,400	W 108 in × L 32ft
	ロケット支持台	1,000	
	主傘 抽出傘	430	100ft × 3個 28ft × 2個
	主傘プラットフォーム	100	
	その他構成品	520	
	重心調整ウェイト	200	
全投下物質質量		19,000	W 2.7 L 18.7 H 2.6m

投下システム構成品

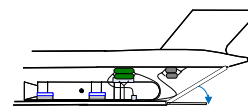


投下シーケンス

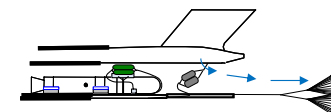
No	イベント	時刻(sec)
1	カーゴ減圧開始	
2	カーゴ後部ドア開放	
3	抽出傘放出	X+0
4	Type V固定解除	X+1
5	Type V抽出完了	X+3
6	主傘放出	X+4
7	PPF解放	
8	主傘開傘	
9	ロケット姿勢変更	X+14
10	ロケット分離	X+32
11	ロケット点火	X+33



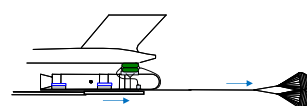
(1)カーゴ減圧開始



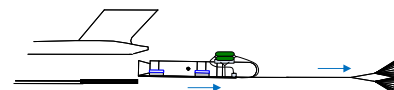
(2)後部ドア開放



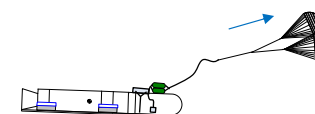
(3) 抽出傘放出



(4)Type V固体解除



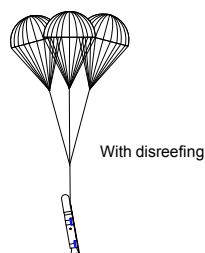
(5)Type V抽出完了



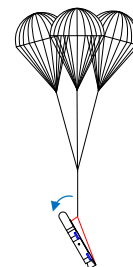
(6)主傘放出



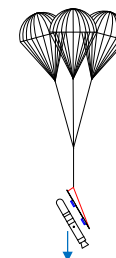
(7)PPF解放



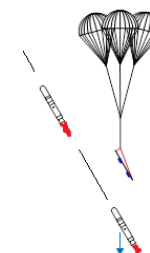
(8)主傘開傘



(9)ロケット姿勢変更



(10)ロケット分離

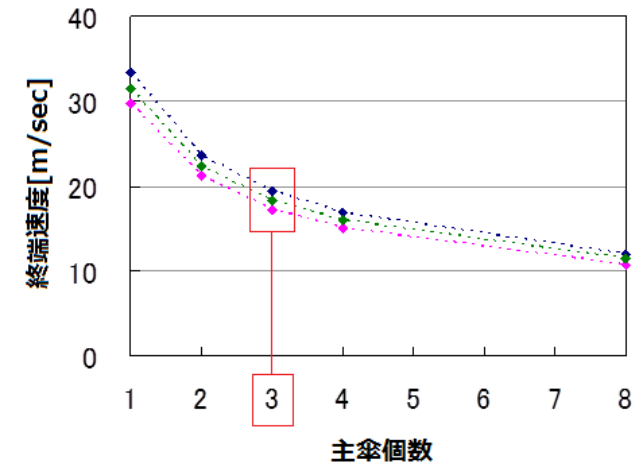
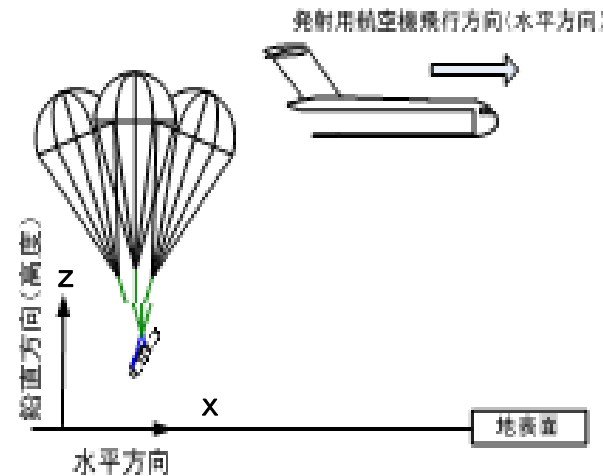


(11)ロケット点火

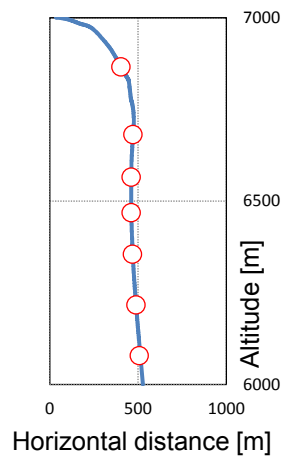
投下後のロケットの運動(概算)

ロケットの投下によるロケットの振り子運動を把握し、ロケットの点火タイミング時期を検討

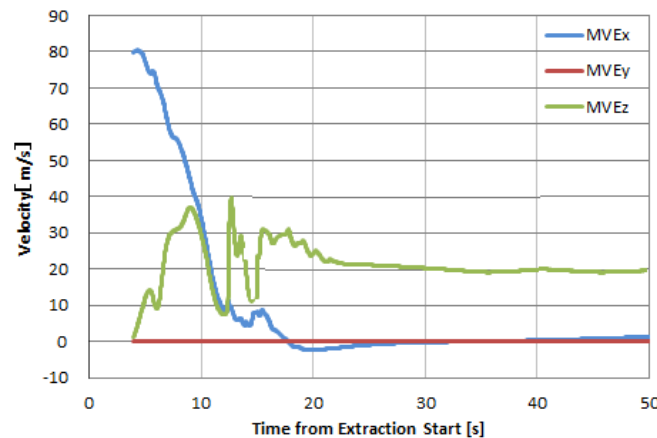
高度7000mから投下時のロケットの運動
抽出開始からの時間履歴



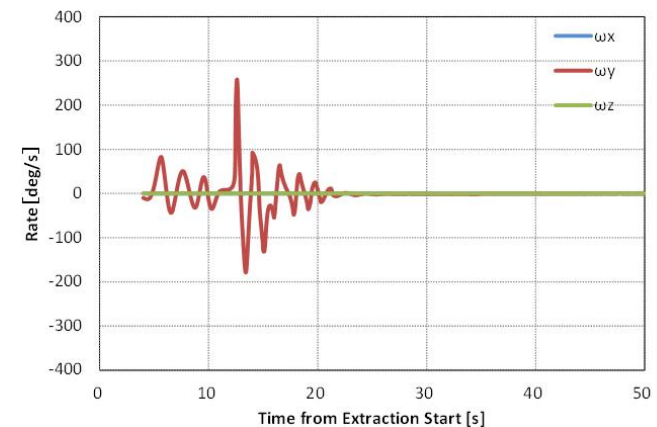
100ftメインシュート(主傘)数量と終端速度



落下運動解析結果
(高度vs水平方向距離)

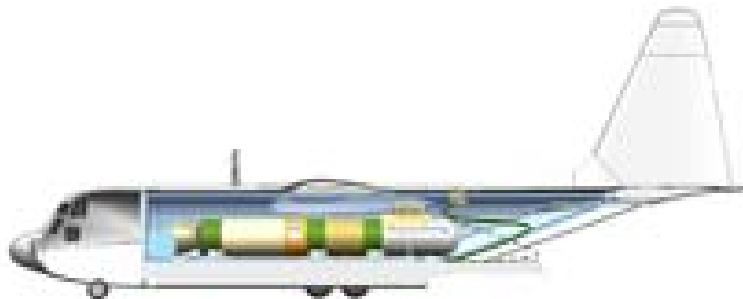


落下運動解析結果(慣性速度)



落下運動解析結果(姿勢レート)

空中発射システムの打上げ能力(概算)



航空機: C-130

投下条件: 速度 250km/h

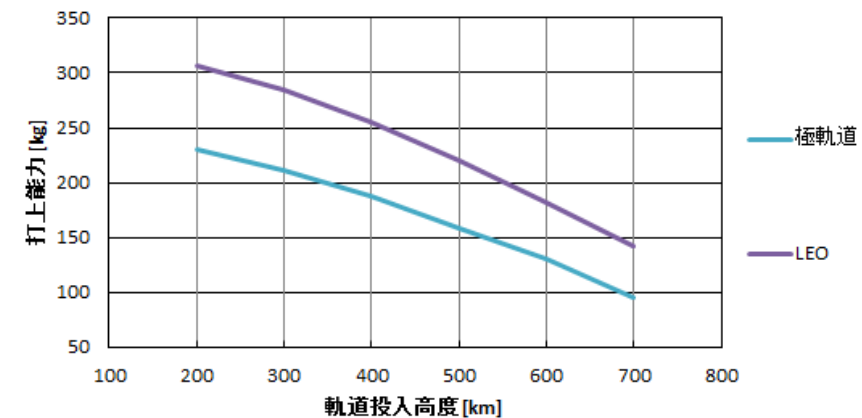
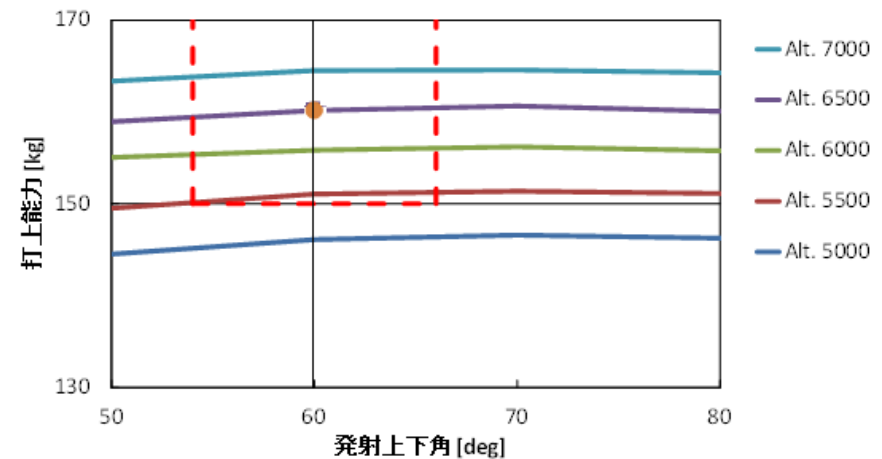
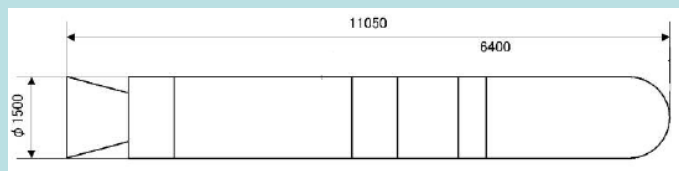
高度 7,000m

ロケット点火: 高度 6,400m

上下角 60deg.

固体ロケット概要

項 目	質量(kg)
3rd Stage	1,190
イナート	180
推進薬	1010
フェアリング	150
2nd Stage	2890
イナート	350
推進薬	2540
1st Stage	10,770
イナート	1020
推進薬	9750
トータル	15,000



航空法関連(抜粋)

項 目	関連条項	内 容	現行法における要検討事項
航空機の取扱	第二条第1項	人が乗って航空の用に供する飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船等	航空機を衛星打ち上げ機の第1段との解釈もあるが、通常の航空機として考える
事業形態	第二条第18項 第二条第21項	航空運送事業:他人の需要に応じて有償で旅客、貨物を運送 航空機使用事業:上記の運送以外の行為	衛星打ち上げを目的とした、ロケットの運送と投下業務
機長の役割	第七三条の四 第七五条	航空機内の安全 地上又は水上の人又は物件への危難の防止	打ち上げ責任者と機長の安全業務との権限を分岐
ロケット搭載	第八六条 施行規則 第一九四条 第22項第5号	爆発性等の物件の航空機による輸送に禁止 航空機以外の輸送手段が不可能、不適合の場合で国土交通大臣の承認を受けて輸送	ロケットは爆発物に該当 投下を目的としたものであり、通常の輸送に該当しない
ロケット投下	第八九条	航空機からの物件投下の禁止 ただし、地上又は水上の安全が確保でき、国土交通大臣に届け出ができた場合は可能	過去には、ビラの投下と農薬散布の実績有り 空路、海上の安全のためのノータム/水路通報の発信

米国連邦航空局 (FAA) による打ち上げライセンスの発行

目的

- ① 米国の国際責任の遵守
- ② 公共の健康と安全、財産の安全、国家安全保障および外交政策利益を保護のための商業宇宙輸送産業規制
- ③ 民間による打上げ、再突入等の商業活動の奨励、促進、振興
- ④ 連邦法、条約、規則、政策、計画および手続きに係わる勧告
- ⑤ 宇宙輸送インフラの強化、拡大促進

対象者

- ① 米国市民
- ② 合衆国および州法に基づいた団体
- ③ 米国企業及び米国が管理する外国企業

審査項目

1. 財政責任確認
2. 政策審査
3. ペイロード審査
4. 安全審査
5. 環境アセスメント審査

2. L. 5.事業化、波及効果

事業化のシナリオ

- (1) 空中発射システムに係わる基盤技術開発をするとともに、ロケット及びその運用に係わる低コスト、高機能化技術等を修得する。
- (2) 上記技術をベースとして、ロケットを含む空中発射システムの開発、起業準備等を実施する。
- (3) 現行法における課題、安全性における課題をクリアし、打上サービス事業へとつなげる。

波及効果

本研究開発は、空中発射システムの基盤技術開発であるが、その技術は既存のロケットへの適用の他、超高速飛翔体等への適用も可能である。これらの技術の利用により、今後の技術開発の期間短縮、コスト低減や運用経費の削減に大きく寄与する。

- (1) 空中発射システムの小型化、大型化
小型、大型輸送機への適用
- (2) ロケット打上げコストの低減
自律飛行、衛星経由管制
- (3) 無人機や極超音速機の管制
自律飛行、衛星経由管制
- (4) 各種実験のテストベッド
フライバックブースタ、カプセル、再突
入機の回収実験

2015

2020

本研究開発

空中発射
システム構想

システム構成

打上シーケンス

ロケット搭載/
分離技術

ロケット搭載技術

ロケット投下技術

運用管制技術

ロケット用GPS/INS

ロケット搭載
GPSアンテナ

飛行状況自己診断
機能

ロケット搭載
中継衛星通信端末

ドップラシフト補償

ロケット搭載
通信アンテナ

ロケット搭載電子
機器技術

民生部品・機器の
適用

機能統合

法規制調査

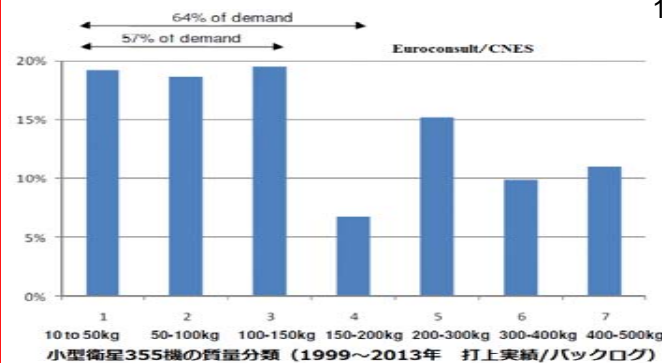
国内法

商業打上事業要件

空中発射システム開発(低コスト化)
投下技術の実証
ロケットシステム開発
(ロケットモータ、搭載電子機器、構造系、フェアリング、低衝撃衛星継手)
組立作業の省力化(機器の自己診断)
打ち上げシーケンス

移動型運用管制システム開発
航空機搭載設備開発
ロケット整備設備開発
民間打上ライセンス関係書類
管理文書類整備

市場調査、事業計画策定、官庁説明、調整
投資家、提携企業調整、商業打ち上げライセンス
広報、事業会社設立



2010年代から超小型周回衛星の技術が実証され、
超小型周回衛星群によるサービス事業展開が加速

衛星経路の運用管制



観測ロケット



無人機



極超音速機



衛星打ち上げ



小型化



大型化



技術開発テストベッド



カプセル回収



再突入機回収

事業展開

空中発射システム(想定打上能力)

高度500km 極軌道 : 150kg以上
低周回軌道: 200kg以上

このクラスの市場はなく、新規市場の創成
現状、相乗りとピギーバック打ち上げに依存 } ユーザ期待大

コスト Pegasus : 48K\$/kg (18M\$/375kg 500kmLEO)
Falcon 1e : 12K\$/kg (10.9M\$/900kg 500kmLEO)
サービス価格想定
Pegasus相当: 48K\$ × 200kg = 9.6M\$ 以下

空中発射サービスコスト 8~9M\$ 目標

1999~2013年の打上実績/バックログ 計355機
200kg以下の衛星は64%の約16機/年 左グラフ参照

事業性

16機/年のうち、単独打上要求を半数の8機/年
半数を受注すると、

8M\$ × 4機 = 32M\$ 32M\$ × 75円/\$ = 24億円(年間)

衛星の更なる小型化開発を欧米が積極的に推進
ミッションの小型化が進み、衛星の更なる小型化促進
低コスト小型打上げ機の市場投入→市場創成、活性化
市場創成→拡大 打ち上げ機会の増加 → 売上げ増

波及効果

空中発射による衛星打ち上げ



本研究開発

	H21年度	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度	備 考
技術動向/市場調査等							超小型衛星市場の促進に対応したシステムを策定し、空中発射システムの核となる投下システムの設計、シーケンス策定等を終了 投下試験に係わる米国の安全審査をクリア
空中発射システム構想検討							
ロケット搭載分離技術開発							
運用管制技術検討							課題を抽出し、課題解決のための対応策を策定
法規制等調査							
小型搭載電子機器の検討							

今後必要な開発

事業化に向けた空中発射システムの構築には、本研究開発の成果に基づいた低コスト開発や技術実証が不可欠

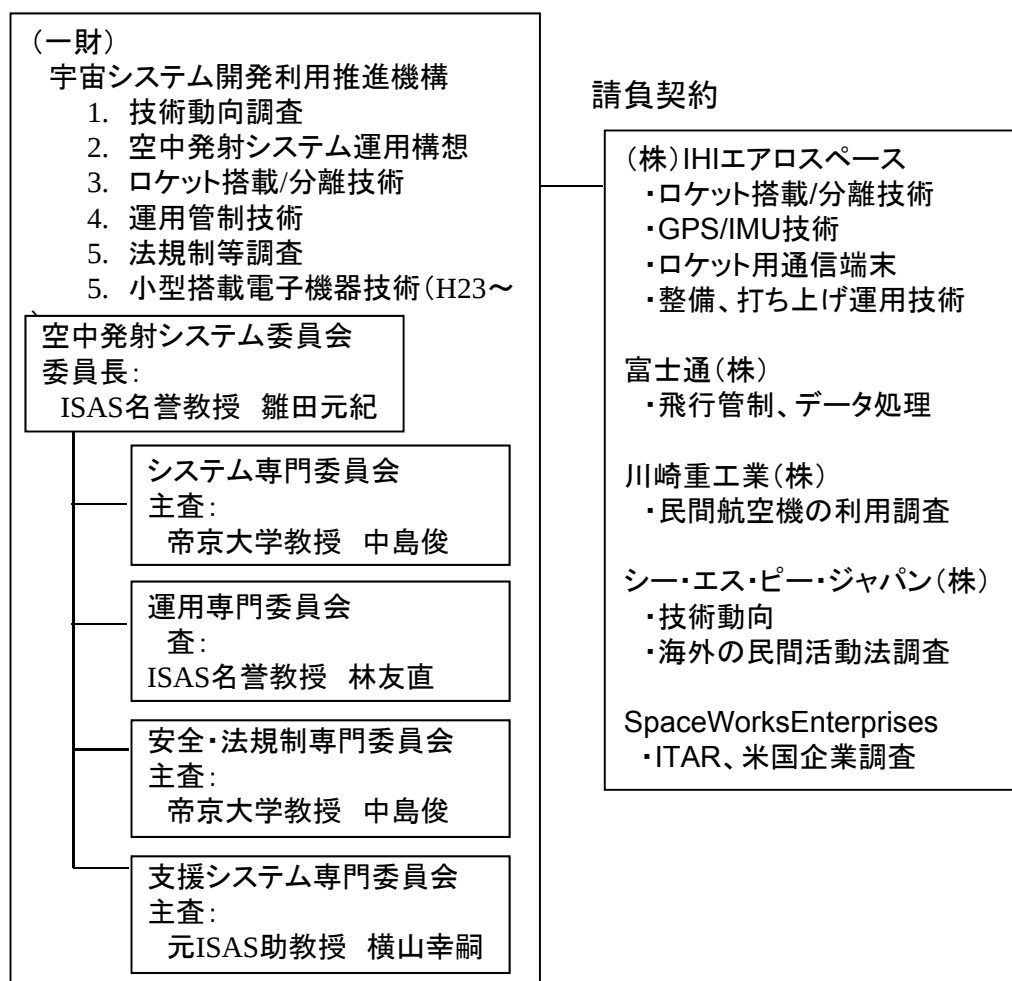
1. 投下システム実証試験
本研究成果の投下システム、投下シーケンス等の検討結果に基づき投下試験を実施し、投下技術を実証
2. 搭載電子機器の小型、軽量、低コスト化
本研究開発成果の機器の削減、統合を図ったアビオニクスシステムに基づき、民生品・民生技術を利用したシステムを開発
3. 次世代運用技術開発
本研究開発成果の仕様に基づき、インマルサット衛星との通信端末及びGPS/INS複合管制システムを開発
4. 空中発射システム開発
上記1.～3.の成果に基づき、ロケットシステムを開発し空中発射システムの打上げ実証

2. L. 6. 研究開発マネジメント・体制等

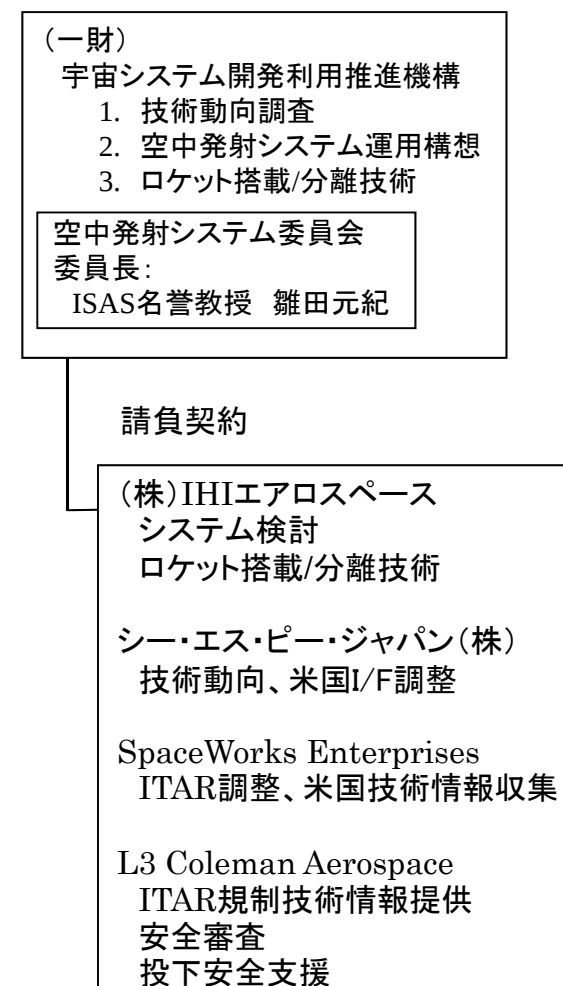
本研究開発は、公募による選定審査手続きを経て、財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構が経済産業省からの委託を受けて実施している。

研究開発の実施に当たっては、財団法人無人宇宙実験システム研究開発機構内に、国内の有識者からなる委員会を設置し、開発計画、解析等の結果について審議し、助言を受けて進めている。

平成21～24年度



平成25～26年度



2. L. 7. 前回の中間評価(平成23年度)の結果

【総合評価】

- 空中発射システムは、日本が得意とする改良技術開発であり、今後、技術開発と共に、実機規模に近い試験実施も含めて制度整備が滞り無く進むことに期待する。
- 空中発射システムの研究開発では、実現に向けた戦略的なロードマップなどの検討も考慮する必要がある。
- 事業(プロジェクト)によっては、既に確立されつつある技術の実用化と長期的な観点から技術レベルの向上を図るものがある。両者とも全体としての目標と、それを具体化するための個別要素技術の達成目標を立てて事業化してゆくのが望ましい。(全事業共通)
- 目標設定が必要性的によって決定されることが重要であり、達成可能見込みから判断して目標設定が付けられないことがないかを注視する必要がある。(全事業共通)

【対応方針】

- 制度整備に関しては、現在日本で空中発射の事業を開始した場合を想定して航空法における問題点を抽出しているところである。今後も研究開発の進捗状況に合わせ、国土交通省と議論していく予定である。
- 空中発射の実現に向けたロードマップは策定(前記ページ参照)しているところではあるが、今後当該ロードマップにおける空中発射の事業化までの短縮に努める。
- 各プロジェクトは、前述のとおり、全体目標とそれを達成するための個別要素技術の目標を立てて実施しており、引き続き事業化に向けて取り組んでまいりたい。なお、本事業は長期的な観点から空中発射に関する技術レベルの向上を図るものであることを踏まえ、関連技術を含む全体としての目標を立てる必要がある。今後は、本事業が約10年後に事業化することを見据えて、全体の目標を立て、各個別要素技術の目標設定を行う予定である。
- 目標を設定する際には、事業者側からのみならず、利用者の視点も踏まえた目標となるよう努めているところである。なお、本事業においては、海外における学会等を通じてユーザ側のニーズを把握し、当該ニーズに基づいた目標設定を行う予定である。