

「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業  
(民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証)」  
プロジェクト評価用資料  
(中間評価)

平成30年10月15日

経済産業省製造産業局宇宙産業室  
国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構  
インターステラテクノロジズ株式会社

プロジェクト名	宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業 (民生品を活用した宇宙機器の軌道上実証)
行政事業レビューとの関係	(行政事業レビューシート番号) 平成 27 年度 : 0059、平成 28 年度 : 0041、平成 29 年度 : 0036
上位施策名	宇宙基本計画 (平成 28 年 4 月)、未来投資戦略 2017 (平成 29 年 6 月)
担当課室	経済産業省製造産業局宇宙産業室

プロジェクトの目的・概要

超小型衛星の打上げ需要の増加を見据え、我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発・軌道上実証を実施する。

具体的には、①低コストモータケース製造技術に向けて CFRTP (熱可塑性樹脂含浸カーボン繊維複合材料) の基礎検討の実施、②固体ロケット用の実用組成を適用した捏和 (=混練) 検証により捏和可能の証明、③アンモニウムジニトラミドを基材とする高エネルギーイオン液体の組成設計検討及び液滴の微細化による着火技術基盤の構築、④軌道上実証に必要とされる小型ロケット向けの飛行安全管理システムの検討、同搭載追跡用コマンド受信器 (MRT: ミニチュアレーダトランスポンダ) 及び小型軽量電源の開発、⑤軌道上実証に向けた衛星の設計検討、⑥炭化水素系液体推進剤ロケットエンジンシステムの改良を実施する。

予算額等 (委託)

(単位: 百万円)

開始年度	終了年度	中間評価時期	終了時評価時期	事業実施主体
平成 27 年度	平成 32 年度	平成 30 年度	平成 34 年度	(研) 宇宙航空研究開発機構 インターステラテクノロジズ(株)
H27FY 執行額	H28FY 執行額	H29FY 執行額	総執行額	総予算額
217	218	170	605	606

※総執行額は平成 27~29 年度の執行額の合計、総予算額は平成 27~29 年度の予算額の合計

## I. 研究開発課題（プロジェクト）概要

### 1. 事業アウトカム

事業アウトカム指標		
民生品や他分野の部品・技術を活用した機器を宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業全体で5件実用化する。		
指標目標値		
事業開始時（平成27年度）	計画：一件	実績：我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発に着手。
中間評価時（平成30年度）	計画：一件	実績：平成30年2月に小型ロケットの打上げ実験を行い、開発した飛行安全系の搭載機器及び関連装置が正常に動作したことを確認。 また、実用超小型衛星(3U-CubeSat)を同ロケットに搭載し、正常に動作したことを確認。
終了時評価時（平成34年度）	計画：5件	実績：－
目標最終年度 （平成33年度予定）	計画：5件	

### 2. 研究開発内容及び事業アウトプット

#### (1) 研究開発内容

超小型衛星の打上げ需要の増加を見据え、我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発・軌道上実証を実施する。

#### ①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータを開発する。

CFRP製のモータケース、ノズルライナの製造コストの削減には既存メーカーの持つ従前のCFRP成形技術から脱却し素材費の圧縮と設備の簡略化が必要である。そこで、本提案では自動車や航空機向けに開発されつつある低コスト成形手法を取り入れることにより大幅な成形コストの低減を可能とする。

②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。

固体推進薬の製造コストは、原料単価よりも工程に係る管理費（人件費）の比率が高い。固体推進薬製造を、従来の手法から人工筋肉を用いた製造技術に転換すれば、①連続製造・高稼働率化、②製造工程・管理簡素化、③製造時間短縮、を実現するので低コスト化に資する。

③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。

姿勢制御系推進器に用いられる液体推進剤はヒドラジンから低毒・無毒への切り替えが進まない。本提案で無溶媒型の低毒液体推進剤の開発に民生分野（創薬、医療、バイオ、再生可能エネルギー、機能性材料等の分野）で実用化が進むイオン液体の技術を導入。組成に高エネルギー物質（加熱分解により高温の低分子量化学安定ガスを発生する材料）を適用すれば、推進燃料の化学ポテンシャル向上にも寄与。

④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。

飛行安全系の搭載機器は高い信頼性及び品質が適切に管理されていなければならないが、民生部品による回路設計、機器回路構成の簡素化による部品点数の大幅削減による小型化・軽量化・高信頼性化、製造工程・管理の簡素化による管理費（人件費）等の大幅削減等により低コスト化を実現する。

⑤実用超小型衛星(3U-CubeSat)を開発する。

衛星に搭載する機器は環境条件の厳しい宇宙空間での動作を求められ、現状高価なものとなっているが、すでに開発されている民生製品用 IC や技術などを取り入れて小型衛星を作ることで、低コスト化及び短納期化を図る。

⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンを開発する。

宇宙ロケットの商業化を加速させるため、現状と同等の信頼性を確保した上で低コストな打上げシステムの実現を目指し、革新的なロケットエンジンシステムを開発する。具体的には、推力 10kN 級の炭化水素系液体ロケット燃焼器の開発、軌道投入機用ガス発生器及びポンプシステムの要素開発を実施する。

⑦自律飛行安全システムを開発する。

国際競争力を有する超小型衛星用ロケットシステムの実現に向けて、ロケットの飛行安全を地上無線局によって確保するのではなく、飛行安全のための地上無線局の一部又は全部が不要となり、打上げシステムの低コスト化等につながる、ロケットの内部で自律的に判断を行い、必要な飛行安全を確保する自律飛行安全システムを開発する。

⑧量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムを開発する。

超小型軌道投入機用の小型液体ロケットエンジンシステムを開発するため、人工衛星を軌道投入可能な小型液体ロケットに必要な各コンポーネントの性能を確認し、地上統合燃焼試験によって全体の性能を取得する。また、量産化を見据えた各コンポーネントの製造方法の評価を行う。

⑨量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術を開発する。

軌道投入機用の小型液体ロケット機体製造技術を開発するため、超小型人工衛星を軌道投入可能な小型液体ロケットの構造及び推進剤タンクの製造方法ごとの基礎モデルの強度試験とロケット実物大スケールの強度試験を行う。また、量産化を見据えた製造方法の評価を行う。

## (2) 事業アウトプット

事業アウトプット指標		
民生品や他分野の部品・技術を活用した機器の実用化に向けて、要素技術を開発。		
指標目標値（計画及び実績）		
事業開始時 （平成 27 年度）	<p>計画：①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータを開発する。</p> <p>②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。</p> <p>③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。</p> <p>④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。</p> <p>⑤ 実用超小型衛星 (3U-CubeSat) を開発する。</p> <p>⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンを開発する。</p>	<p>実績：我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発に着手。</p> <p>①低コストモータケース製造技術に向けて CFRTP（熱可塑性樹脂含浸カーボン繊維複合材料）の基礎検討を実施</p> <p>②固体ロケット用の実用組成を適用した捏和（＝混練）検証により捏和可能を証明</p> <p>③アンモニウムジニトラミドを基材とする高エネルギーイオン液体の組成設計検討及び液滴の微細化による着火技術基盤を構築</p> <p>④軌道上実証に必要とされる小型ロケット向けの飛行安全管制システムの検討、同搭載追跡用コマンド受信器（MRT：ミニチュアレーダトランスポンダ）及び小型軽量電源の開発</p> <p>⑤軌道上実証に向けた衛星の設計検討を実施</p> <p>⑥炭化水素系液体推進剤ロケットエンジンシステムの改良を実施</p>
中間評価時 （平成 30 年度）	<p>計画：①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータを開発する。</p> <p>②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。</p> <p>③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推</p>	<p>実績：①低コストな CFRTP によるモータケース成形とレーザー溶着技術の適用可能性を確認するとともに、RTM（樹脂注入）成形によりノズル形状成形物の形成を完了。レーザー照射距離・出力の試行錯誤により、CFRTP におけるレーザー溶着条件を確立し、レーザー溶着技術を適用したモータケースの成形に成功した。RTM 成形によるノズル材料の研究では、円錐計上になるよう螺旋状に巻く織物プリフォームの断面形状を、段を組み合わせる形状とし、RTM 成</p>

	<p>進薬を開発する。</p> <p>④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。</p> <p>⑤ 実用超小型衛星 (3U-CubeSat) を開発する。</p> <p>⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンを開発する。</p>	<p>形によるノズル形状ライナの制作に成功した。</p> <p>②実用レベルに近いソフトアクチュエータ式固体推進薬捏和装置を製作し、固体ロケットモータの試作実証実験、燃焼試験を実施し、ロケットとしての推進性能が既存技術で製造したものと同等以上であることを確認した。実運用を見据え、材料投入装置と蠕動運動ポンプの整備性生産性の向上、耐久性の向上等や、より短い時間で捏和を可能とする蠕動運動ポンプの高速化・駆動パターン、材料投入量の検討を行った。</p> <p>さらに、1 kg超の実組成火薬での試験を実施するため、防爆処理を施した。最後に、カーリットHDで捏和試験を実施し、その性能を、引っ張り試験、ストランドバーナでの燃焼圧測定、及びTM-80ロケットモータでの地上燃焼試験によりその品質を確認した。</p> <p>③アンモニウムジニトラミドを基剤とする高エネルギーイオン液体推進剤 (EILPs) を適用した液体推進系の実現性を実証実験で確認した。ヒドラジンの代替となる液体推進剤には、低毒性であること以外に高性能、低融点であり、着火性に優れることが要求される。本事業における検討により高性能、低融点、高着火性組成の調製が可能となった。化学平衡計算上ヒドラジンの1.6倍の密度比推力を達成でき、推進系の小型軽量化に寄与できることが示された。</p> <p>また、スラスタにおいてインジェクタより噴射された推進剤液滴に点火することを想定し、密閉容器中で液滴を対象とした点火実験を実施した。民生分野で研究が進むレーザー点火を導入し、これまで難燃性とされたイオン液体の点火を可能にした。さらに、新規推進剤 EILPs について、スラスタ形状での燃焼試験を行い、安定した燃焼を達成し、パラメータの取得ができた。</p> <p>④超小型ロケット向け搭載追跡用コマンド受信器 (MRT: ミニチュアレーダトランスポンダ) 及び CMD (コマンドデコーダ)、小型軽量電源の開発を行いロケットに実装し、軌道上実証により、総合的な機能検証を実施した。MRT 及び CMD は、飛行安全管制のためのロケットの位置標定、地上から送られるロケ</p>
--	---	---

		<p>ットの姿勢変更指示の受信・解読、第2段モータの点火許可であるシーケンス GO コマンドの受信・解読及び第2段モータ点火許可信号の送出手の役割を担う。既存品の部分改修となる MRT は、民生部品による回路設計及び回路構成の簡素化を行い、CMD は信頼性維持と開発リスク低減の観点から MRT の設計と共通化を図ったうえで新規開発した。平成30年2月の軌道上実証では、全て正常に機能することが確認された。</p> <p>⑤民生品を活用した3Uサイズの衛星を実際に開発して小型ロケットに搭載し、軌道上実証を実施し、正常に機能したことを確認した。平成30年2月に軌道上実証を実施した TRICOM-1R（通称：「たすき」）は、衛星バスを東京大学開発の「ほどよし衛星シリーズ」の基盤技術の成果を基に軌道上実証された民生部品を多く使用するとともに、最新の民生デバイスの軌道実証として、光学・撮像素子に民生デバイスを採用した地球観測カメラの実証、高感度受信デバイスを利用した Store and Forward (S&amp;F) ミッションの実証、及び自律的な写真撮影を可能にするオンデマンド自律即時観測ミッションに成功した。S&amp;F ミッションは地球上の情報端末から衛星に向かって付属センサ等で取得したデータの送信を行うミッションで、衛星は地上端末から送られるデータを収集し、衛星が管制局上空に来た時にコマンドにより転送するものであり、無線デバイスには民生部品が使用された。</p> <p>また、オンデマンド自律即時観測ミッションは、衛星の自律機能により、打ち上げ直後において地上局からの支援無しに地上写真を撮像する「即時観測」の機能実証であり、平成29年1月の実証実験にて使用された TRICOM-1 から付加された機能である。TRICOM-1R は、目標としていた30日間の実証期間を大きく上回る約半年間の軌道上実証に成功し、平成30年8月に地球に再突入した。</p> <p>⑥軌道投入用ロケットエンジンのポンプシステムのガス発生器とタービンの地上試験段階の基礎開発を完了した。</p>
--	--	--

<p>終了時評価時 (平成 34 年度)</p>	<p>計画：①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータを開発する。 ②民生技術（人工筋肉）を転用した固体推進薬の製造技術を開発する。 ③民生技術（イオン液体）を利用した低毒性液体推進薬を開発する。 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置を開発する。 ⑤ 実用超小型衛星 (3U-CubeSat) を開発する。 ⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンを開発する。 ⑦自律飛行安全システムの開発 ⑧量産化を見据えた小型液体ロケットエンジンシステムの開発 ⑨量産化を見据えた小型液体ロケット機体製造技術開発</p>	<p>実績：－</p>
------------------------------	---	-------------

<共通指標実績>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	国際標準への寄与	プロトタイプ の作成
12	－	2	－	－	－	－

3. 当省(国)が実施することの必要性

宇宙基本計画や宇宙産業ビジョンにおいて示されているように、民生部品・民生技術を活用した宇宙用部品・コンポーネントの低コスト化は、我が国の宇宙機器産業の競争力強化に不可欠であるものの、一般的な民生部品・技術は宇宙空間という特殊な環境下での使用を前提とした設計・仕様になっていないため、低コスト化と信頼性を同時に達成するという高度な開発課題の解決が必要となる。



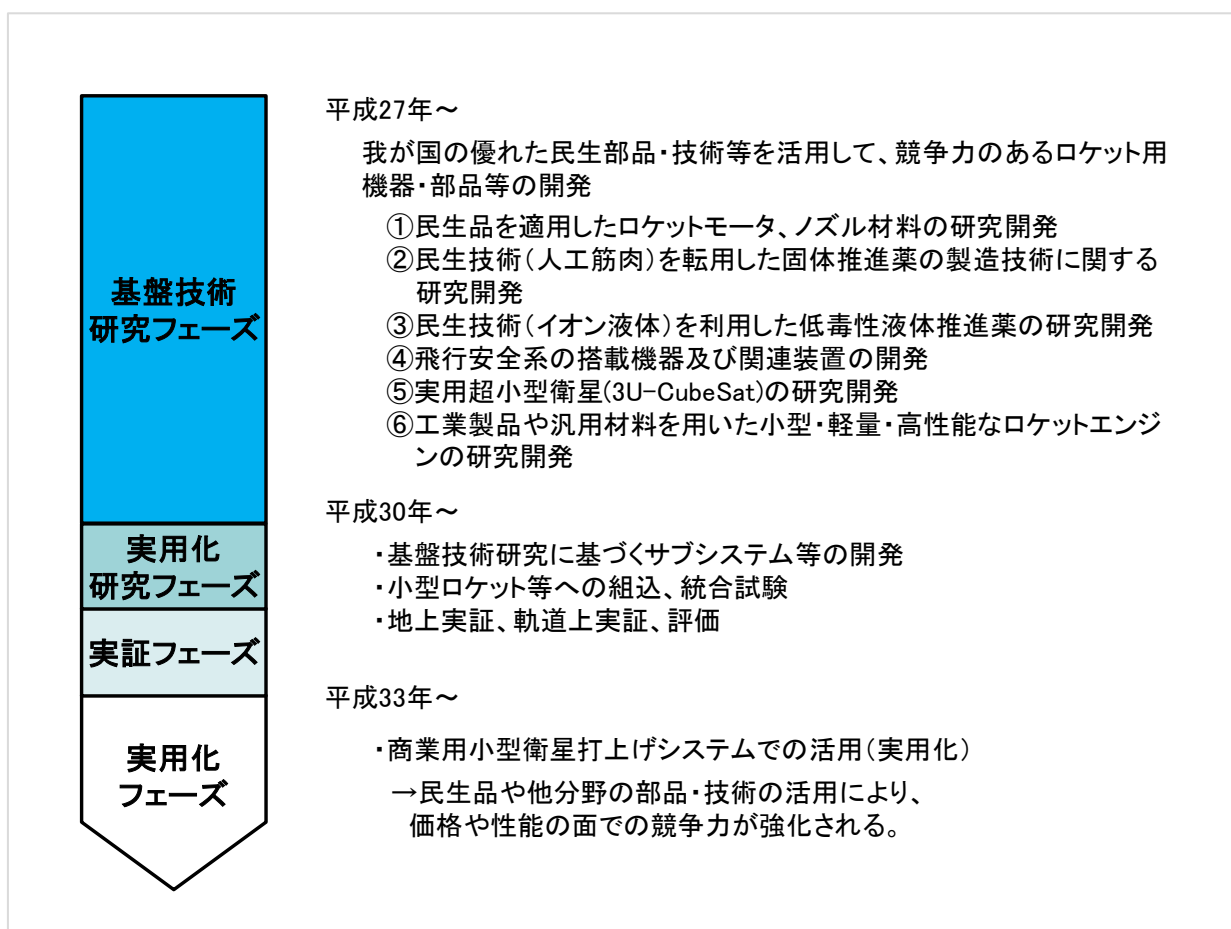
また、コンステレーション型ビジネス等の進展に伴い、現在、小型衛星の需要増加を踏まえた、低価格な小型衛星用打上げサービスの開発が各国において積極的に進められているものの、いずれも事業化には至っておらず、世界に先駆けて、競争力を有する打上げサービスの投入が重要となっている。

このため、低価格な小型衛星用打上げサービスの実現に資する民生部品・民生技術を活用した宇宙用部品・コンポーネントの低コスト化については、新規技術の研究開発であり、開発要素及び研究におけるリスクが大きいことから、本技術の研究開発は国による委託事業として実施することが必要。

なお、本事業は、これまでロケット打上げに係る知見やデータを蓄積してきた JAXA や小型ロケットのビジネス化に取り組むインターステラテクノロジズを中心として進めており、開発完了後に本事業の成果を民間事業者に移転することで、我が国小型ロケット産業全体への波及効果が期待できる。

#### 4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

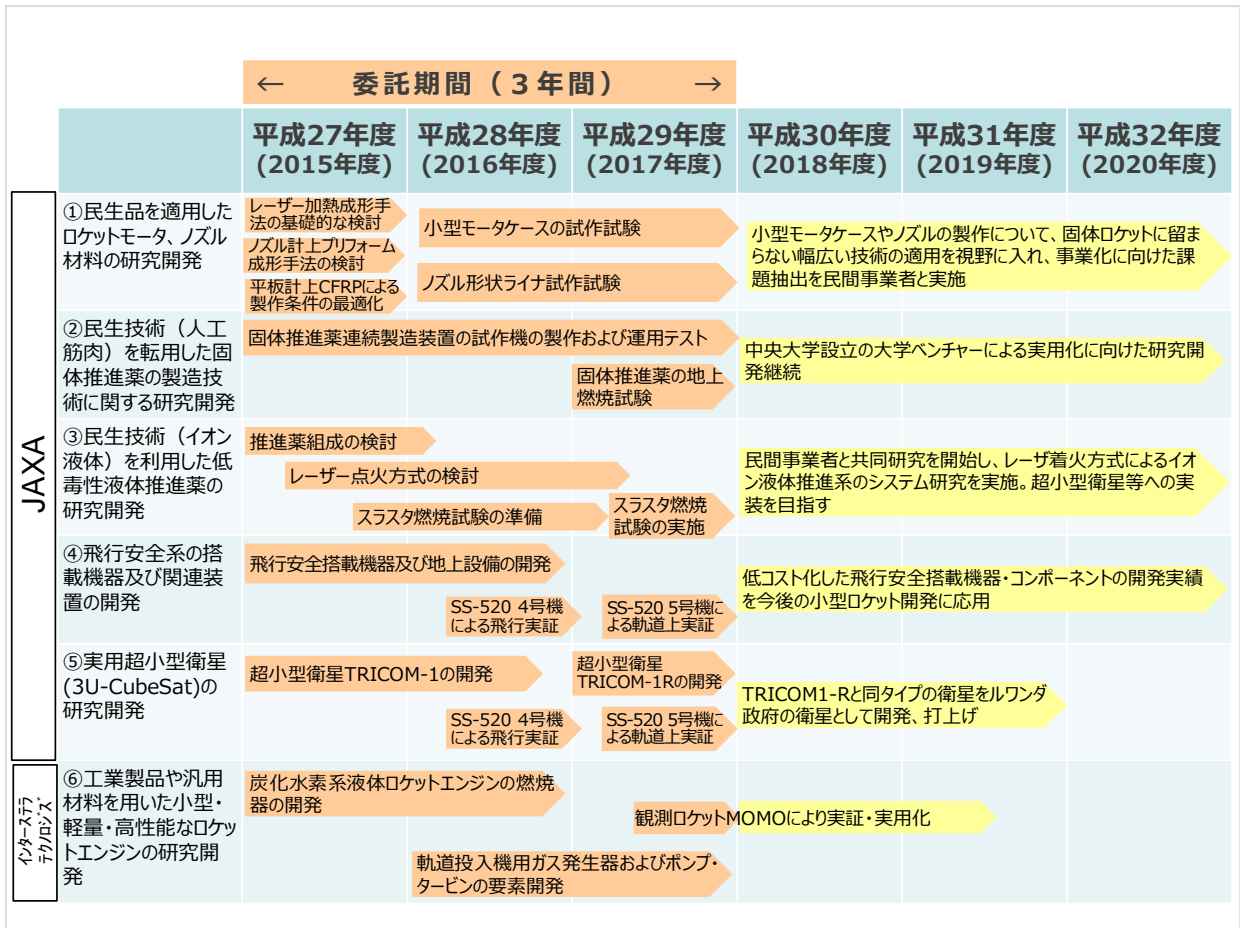
我が国の優れた民生部品・技術等を活用して、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムの実現に向けたロケット用機器・部品及び民生品を適用した実用超小型衛星の研究開発を行い、地上実証や軌道上実証を重ねて、事業終了後に商業用小型衛星打ち上げシステムでの実用化につなげる。



## 5. 研究開発の実施・マネジメント体制等

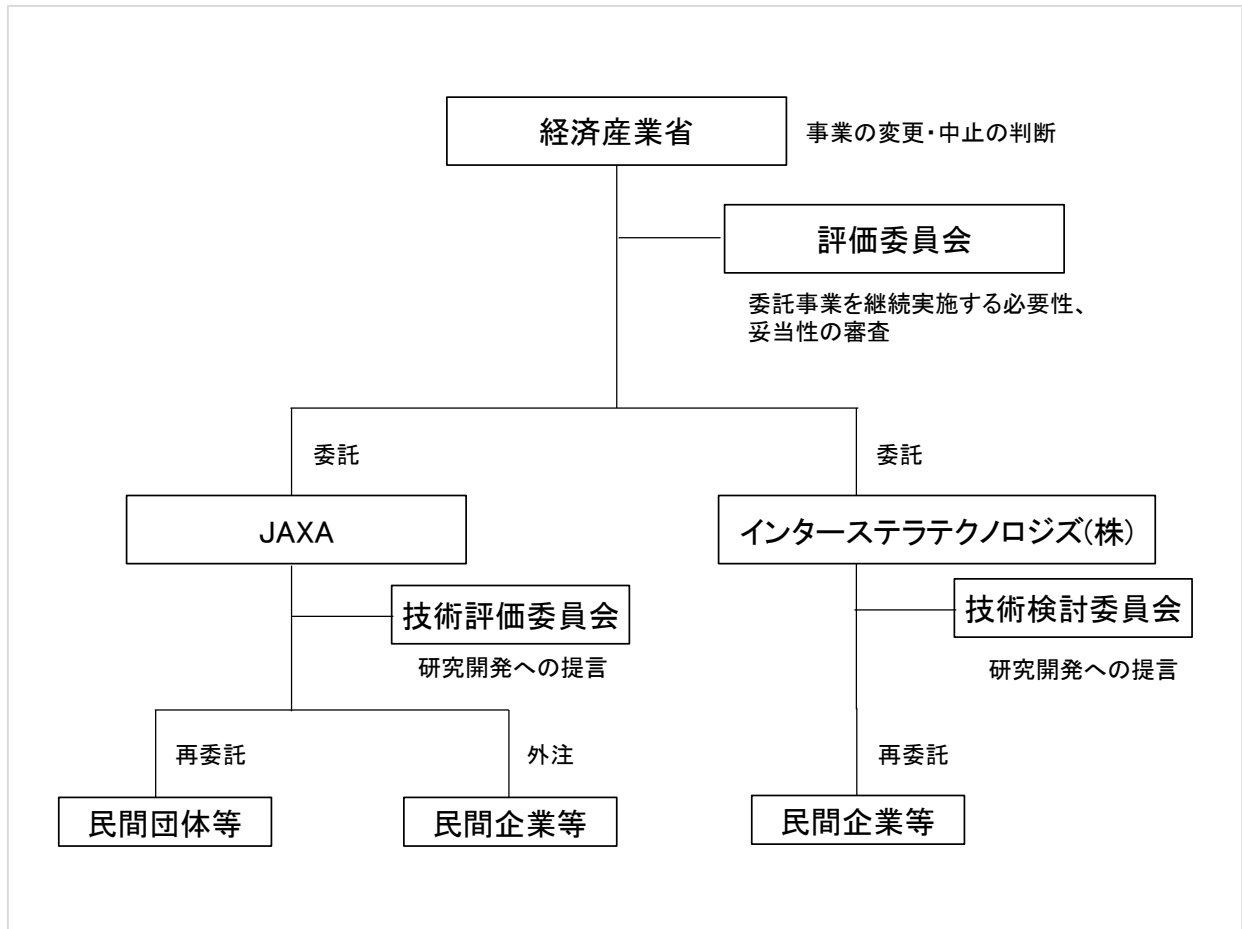
### (1) 研究開発計画及び実施体制

本事業は、平成27年度から、公募による選定審査手続きを経て、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構及びインターステラテクノロジズ(株)が経済産業省からの委託契約を基に実施している。

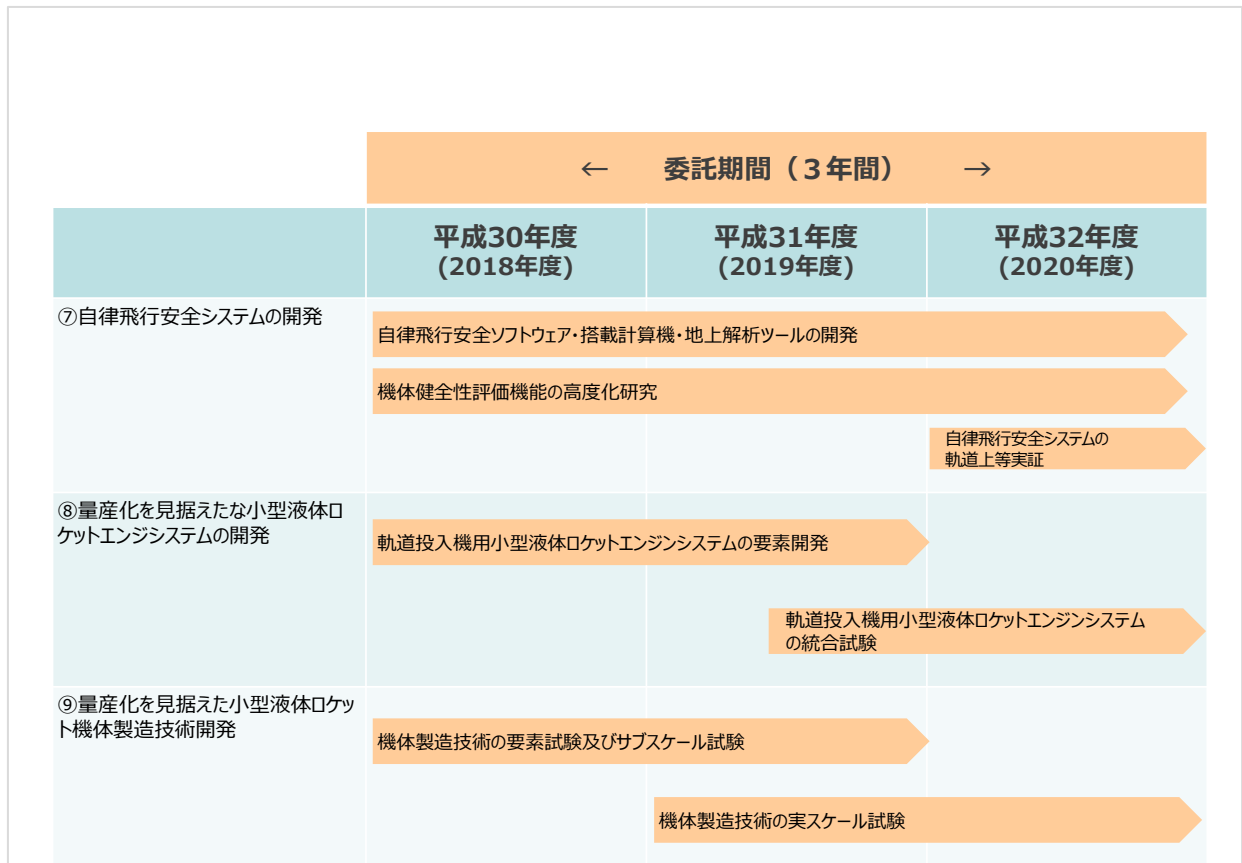


また、それぞれの受託事業者において、外部の学識経験者等から構成される技術委員会を設置し、研究実施内容について評価・助言をいただき、計画を適宜見直しながら進めている。

委託者である経済産業省においては、毎年、研究開発成果等を踏まえ、事業の変更、中止の判断を行うことにより、有効かつ効率的な研究開発を実施している。



なお、平成27年度から3年間の事業期間であったため、平成30年度に公募及び有識者による審査を経て、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構及びインターステラテクノロジズ(株)の提案を採択した。



## （2）国民との科学・技術対話の推進

本事業の内容や成果等をわかりやすく社会・国民に伝え、宇宙産業に対する理解と関心を深めてもらうことを目的として、実証試験等の一環として実施したロケットの打上げについては、見学等を可能とし、その日時等の周知を積極的に実施した。

- ①SS-520 4号機（JAXA）：平成29年1月15日に鹿児島県肝属郡肝付町から打上げ
- ②SS-520 5号機（JAXA）：平成30年2月3日に鹿児島県肝属郡肝付町から打上げ
- ③MOMO 初号機（インターステラテクノロジズ）：平成29年7月30日に北海道広尾郡大樹町から打上げ

### (3) 年度毎の資金配分

公募による選定審査手続きを踏まえて、以下のとおり、資金配分を実施した。

(単位：百万円)

実施者	研究開発項目	H27 年度	H28 年度	H29 年度	合計
JAXA	①工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットモータの開発 ②民生技術(人工筋肉)を転用した固体推進薬の製造技術の開発 ③民生技術(イオン液体)を利用した低毒性液体推進薬の開発 ④飛行安全系の搭載機器及び関連装置の開発 ⑤実用超小型衛星(3U-CubeSat)の開発	199	200	152	551
インターステラテクノロジズ	⑥工業製品や汎用材料を用いた小型・軽量・高性能なロケットエンジンの開発	18	18	18	54
合 計		217	218	170	605

### (4) 社会経済情勢等周囲の状況変化への柔軟な対応

世界的な小型衛星の打上げ需要の増加により、低コストな商業用超小型衛星打上げシステムについては世界各国で開発競争が活発化していることから、民生部品や民生技術を用いたロケットの低コスト化技術の国際動向調査を実施し、開発状況や実用化の動きなど世界の動向を的確に把握しながら、研究開発を実施した。

## 6. 費用対効果

小型衛星の打上げ需要の増加に伴い、小型衛星を柔軟かつ安価に打ち上げることが可能な小型ロケットのニーズが世界的に高まっているものの、現在、小型ロケットの打上げサービスを事業化している企業は世界にない。このため、世界に先駆けて、価格競争力のある小型ロケット打上げサービスを提供できれば、小型衛星の打上げ市場を獲得することが可能となる。

本研究開発では、民生部品や民生技術を活用した低価格な宇宙用部品・コンポーネントを開発し、地上実証や小型ロケットによる軌道上実証を経て成果を着実に積み重ねているところ。これら成果や現在開発を進めている自律飛行安全システム等により、打上げ価格を数億円規模で低減させることが可能と考えており、これらが我が国小型ロケット事業者へ技術移転されれば、海外のロケット事業者に対して価格・打上げ能力の観点から比較優位となるため、相当程度の打上げ需要の獲得が期待でき、研究開発費を大きく上回る費用対効果を有する。(日本や米国で開発されている小型ロケットの打上げ価格は5~10億円程度を予定。)

なお、内閣府の小型・超小型衛星の打上げ需要調査結果(平成30年5月)によれば、我が国企業

が獲得の可能性のある小型ロケットの打上げ機数は、最大 105 機/年との予測。