

Ⅲ. 4. 2 新たな価値を実現する宇宙産業基盤・科学技術基盤の維持・強化（スペース・デブリ対策、宇宙太陽光発電含む）

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
Ⅲ. 4. 2	1. 2. 2.	-	-
<p>新たな事業領域の開拓や世界をリードする技術革新により、我が国の宇宙活動の自立的・持続的発展と関連産業の国際競争力強化に貢献するため、今中長期目標期間において確立を目指す重要技術を以下に示すとおり設定し、研究開発の重点課題として取り組む。</p> <p>研究開発の実施に当たっては、国際的な技術動向の分析に基づいた宇宙システムの劇的な機能・性能向上をもたらす革新的技術や、宇宙探査等の宇宙開発利用と地上でのビジネス・社会課題解決の双方に有用（Dual Utilization）な技術等について、オープンイノベーションの仕組みを拡大・発展させて異業種産業等も含め共同で研究開発・技術実証を推進する。これらを通じて、技術革新及び広範な産業の振興に資するとともに、JAXA におけるプロジェクトの推進、民間企業の競争力強化と事業化の加速及び異業種や中小・ベンチャー企業の宇宙分野への参入を促進する。</p>	<p>新たな事業領域の開拓や世界をリードする技術革新により、我が国の宇宙活動の自立的・持続的発展と関連産業の国際競争力強化に貢献するため、今中長期目標期間において確立を目指す重要技術を以下の通り設定し、研究開発の重点課題として取り組む。</p> <p>研究開発の実施に当たっては、国際的な技術動向の分析に基づいた宇宙システムの劇的な機能・性能向上をもたらす革新的技術や、宇宙探査等の宇宙開発利用と地上でのビジネス・社会課題解決の双方に有用（Dual Utilization）な技術等について、オープンイノベーションの仕組みを拡大・発展させつつ、異業種産業等も含め共同で研究開発・技術実証を推進する。具体的には、新たな分野として設定した革新的将来宇宙輸送システム研究開発プログラムや小型技術刷新衛星研究開発プログラムについて、関連する研究開発に向けた公募や共同研究の立ち上げ等を実施する。</p>	<p>新たな事業領域の開拓や世界をリードする技術革新により、我が国の宇宙活動の自立的・持続的発展と関連産業の国際競争力強化に貢献するため、今中長期目標期間において確立を目指す重要技術として、以下の通り、研究開発に取り組んだ。</p> <p>FY2015より実施してきた宇宙探査イノベーションハブの取り組みを継続し、宇宙探査等の宇宙開発利用と地上でのビジネス・社会課題解決の双方に有用(Dual Utilization)な技術等のオープンイノベーションによる共同研究を実施した。共同研究テーマ設定段階で企業の研究開発ニーズを取り込む課題設定を行い、共同研究実施にあたっては事業化や知財活用への支援等のマネジメントを行っている。</p> <p>2021年度共同研究公募では新たに19件を採択、38の企業・研究機関等が参加し、これらのうち約9割がこれまで宇宙分野に関わりがなかったもの、企業のうち約4割が中小・ベンチャー企業であり、オープンイノベーションの仕組みの拡大および異業種や中小・ベンチャー企業の宇宙分野への参入促進に寄与した。</p>	<p>●オープンイノベーションを利用した共同研究： 昨年度以前から継続していた共同研究の成果を基に以下のような実装等に至った。特に、製品化、受注実績が発生したことは探査ハブの取組が新たな段階に達したと言える。</p> <p>○ボールウェーブ： 超小型高性能ガスクロマトグラフ製品化</p> <p>○竹中工務店、キリンほか： 袋型培養槽技術のISS栽培実証実験を実施</p> <p>○日立造船： 全固体リチウムイオン電池のISS船外実験を実施</p> <p>○タカトミー、ソニーほか： 変形型月面ロボットがLEV2としてSLIM搭載予定、開発完了</p> <p>○エクストコム： 超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバがSLIM搭載のLEV1部品に採用</p> <p>○新明和工業： モータ軸受けがSLIM搭載のLEV1部品に採用</p> <p>*SLIMに搭載され「小型プローブによる移動技術の工学実証」を行う小型ローバをLEV1、分離カメラをLEV2という。</p> <p>また、共同研究を実施していた遠隔施工技術（鹿島建設）研究テーマが国土交通省のスターダストプログラム「宇宙無人建設革新技術開発推進事業」に採択されたほか、ムーンショット型研究開発に参加するなど、他制度と連携した宇宙探査研究の拡大が着実に進展している。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	(続き)	<p>(続き)</p> <p>さらに、国際宇宙探査へのさらなる貢献の観点から生命維持、惑星保護等についても継続して共同研究を実施した。また、革新的将来宇宙輸送プログラムが立ち上がり、宇宙探査分野に加え宇宙輸送分野におけるオープンイノベーションの仕組みが強化された。</p> <p>このほか、異分野からの更なる興味関心と理解を得、参画の促進を図るべく、「宇宙探査イノベーションハブビジョン」を制定した。</p>	(続き)
<p>また、令和2年度に制定した JAXA 知的財産ポリシーを踏まえ、国際競争力の鍵となる技術の知的財産化を進め、産業界による活用が促進される知的財産制度を整備するとともに、知的財産活動の定着を図る。</p> <p>さらに、研究リーダーに優れた人材を登用するため、クロスアポイントメント制度やイノベーションフェロー制度等を活用し、宇宙航空分野に限らず我が国が強みを有する分野との間で、人材の流動化を進める。</p>	<p>その際、研究リーダーに優れた人材を登用するため、クロスアポイントメント制度やイノベーションフェロー制度等を活用し、人材糾合を進める。</p> <p>また、令和2年度に制定した JAXA 知的財産ポリシーを踏まえ、国際競争力の鍵となる技術の知的財産化に関し、産業界による活用が促進されるよう知的財産のマネジメント体制や諸規程、ガイドライン等を、産業界との連携が強いプロジェクト等を対象に試行的に適用しながら改善を進める。また規程等の存在やその内容・趣旨を社内に浸透させる教育を実施する。</p>	<p>クロスアポイントメント制度により企業人材を5名受け入れている。</p> <p>共同研究において得られた共有の知的財産を効果的・効率的に活用するための取扱いについて新たな知財条項をガイドラインとして作成し、産業界との連携が強い研究開発部門及び航空技術部門を中心に試行を開始した。また、社会実装を念頭に置いた知財の獲得を浸透させるべく、研究開発部門において、研究計画立案時から社会実装を意識するよう研究評価に知的財産の観点での評価を導入するとともに、特許取得においては出願費用を意識した出願の要否判断の試行を開始した。いずれも次年度において把握された課題を踏まえて改善を進める。これらの試行を行うための研修・説明会を実施するとともに、創出された知的財産の識別・保護や特許出願時の手続きに係る研修を、コロナ禍でもいつでも受講できるようオンデマンドによる動画等コンテンツを社内の知的財産ホームページに掲載するなど実施し、知的財産活動の浸透を図った。</p>	<p>●クロスアポイントメント制度：クロスアポイントメント制度により受け入れた人材を中心に、派遣元会社にて独自に技術の宇宙実証を実施した。</p> <p>その他、計画に基づき着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(1) 我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発</p>	<p>(1) 我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発</p>	<p>(1) 我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発</p>	<p>—</p>
<p>研究開発の実施にあたっての方針に従い、以下に示す我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発を実施する。</p>	<p>研究開発の実施にあたっての方針に従い、以下に示す我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発を実施する。</p>	<p>研究開発の実施にあたっての方針に従い、以下に示す我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発を実施した。</p>	<p>—</p>
<p>①革新的将来宇宙輸送システム研究開発プログラム</p>	<p>①革新的将来宇宙輸送システム研究開発プログラム</p>	<p>①革新的将来宇宙輸送システム研究開発プログラム</p>	<p>—</p>
<p>我が国の宇宙輸送システムの自立性の継続的な確保や将来の市場における競争力強化のため、抜本的な低コスト化等を目指した革新的な「将来宇宙輸送システム研究開発」として、再使用技術、革新的材料技術、革新的推進系技術(液化天然ガス(LNG)、エアブリージング)、革新的生産技術、有人輸送に資する信頼性・安全性技術等について、基幹ロケットの高度化等も踏まえながら JAXA 全体で連携し、総合的な研究開発プログラムとして革新的な技術の研究開発を進める。本研究開発を推進するに当たって、文部科学省が2021 年中に定める「革新的将来宇宙輸送システム実現に向けたロードマップ」(仮称)に基づき、革新的な技術に係る技術ロードマップを策定するとともに</p>	<p>我が国の宇宙輸送システムの自立性の継続的な確保や将来の市場における競争力強化のため、抜本的な低コスト化等を目指した革新的な「将来宇宙輸送システム研究開発」の推進のため、革新的な技術に係る技術ロードマップを策定するとともに、ユーザーを含む産学官の幅広い実施主体が参画するオープンイノベーションでの共創体制を活用し、宇宙分野以外の事業者を含め広くRFIを要請した上で、研究開発を開始する。 また、再使用技術、革新的材料技術、革新的推進系技術(液化天然ガス(LNG)、エアブリージング)、革新的生産技術、有人輸送に資する信頼性・安全性</p>	<p>本プログラムでは、再使用技術等の必要な技術に係るロードマップを策定するとともに、ユーザーを含む産学官の幅広い実施主体が参画するオープンイノベーションでの共創体制を活用し、宇宙分野以外の事業者を含め広く2回の情報提供要請(RFI)と研究提案要請(RFP)を実施し、共同研究テーマを選定して研究開発を開始した。策定した技術ロードマップに従い、宇宙輸送システムの低コスト化、軽量化、性能向上等に資するアビオニクス、構造系、ロケットエンジン等のさまざまな革新技術に関する研究開発を推進している。 アビオニクスに関する研究では、放射線を含む耐環境性を有し、ロケットの航法や衛星コンステレーションに利用可能な低コスト・国産小型中精度IMU(Inertial Measurement Unit)を小型実証衛星2号機(RAISE-2)に搭載し、軌道上で正常に動作し慣性データが計測できることを実証した。このIMUを活用し、民生GNSS計算機と冗長化した複合航法システムについて、基幹ロケットへの適用を目指して開発を進めている。</p>	<p>計画に基づき着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き) に、ユーザーを含む産学官の幅広い実施主体が参画するオープンイノベーションでの共創体制を構築する。</p>	<p>(続き) 技術等について、基幹ロケットの高度化等も踏まえながらJAXA全体で連携し、総合的な研究開発プログラムとして革新的な技術の研究開発を当該技術ロードマップに基づき進める。</p>	<p>(続き) また、ロケット開発におけるアンテナパターン試験省略につながる技術として不可視領域が生じない小型パラボラアンテナ(XDSP, X-Dipole feeding Small Parabola antenna)を考案(JAXA特許)し、民間事業者がXDSPを製品化し、販売を開始した。 ロケット構造の設計にトポロジー最適化を取り入れ、Additive Manufacturing技術と組み合わせる設計プロセスのフローの検討、トポロジー最適化の課題抽出等を進めた。 エンジンのモデルベース開発技術の高度化に向けて、数値シミュレーションの検証に有用となるロケット燃焼場の物理量取得を目指し、高圧燃焼場でのレーザ誘起蛍光(LIF, Laser Induced Fluorescence)計測を実施し、燃焼の様子を可視化できる高いS/N比のLIF画像を取得することに成功した。 さらに、機体構造/熱制御システム/エンジンの低コスト化・軽量化、構造・機構の再使用化・整備最小化、モデルベース開発技術の向上など、将来宇宙輸送システムにつながる研究を着実に進めた。</p>	<p>(続き) ●小型パラボラアンテナによる全方位通信システムの研究： XDSPは、航空機やドローンのような飛翔体にも適する。パターンが機体形状の影響を受けなく機体の空力特性を損なわない。5G機器、Wi-Fi、移動体高速通信など幅広く応用可能。民間事業者が様々な周波数に対応したXDSPを製品化し、市販中。 その他、計画に基づき着実に実施した。</p>
	<p>なお、中長期的に取り組む液化天然ガス(LNG)推進技術については、軌道間輸送等の将来構想への適用検討を深めつつ、実際のエンジンに近い形態にて燃焼試験を行う等の要素技術実証を視野に入れた研究開発を当該技術ロードマップに基づき進める。ロケットやジェット推進複合技術による極超音速飛行への応用については防衛装備庁等関係機関と連携しつつ研究を進め、エンジン実証風洞試験について実飛行状態に補正するツールの構築準備等を行う。</p>	<p>液化天然ガス(LNG)推進技術については、実機形態に近いエンジン用ターボポンプの運用性を向上する改良を施し、ターボポンプ単体試験にて改良の効果とエンジン燃焼試験に適用可能であることを確認した。さらに、エンジン形態による総合燃焼試験により、LNGエンジンとして世界トップレベルの燃費性能を実証できた。 ロケットやジェット推進複合技術による極超音速飛行への応用については、防衛装備庁等関係機関と連携しつつ研究を進め、エンジン実証風洞試験において実飛行状態に補正するツールの作成を進めるとともに、次年度に計画している飛行試験の供試体製作を完了した。</p>	<p>計画に基づき着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>②小型技術刷新衛星研究開発プログラム</p> <p>衛星開発・実証プラットフォームの下、各府省庁、大学・研究機関、ベンチャー企業を含む民間事業者等と連携し、官民で活用可能な挑戦的で革新的な衛星技術、我が国が維持すべき基幹的部品及び新たな開発・製造方式（デジタルライゼーション等）等の研究開発・実証を推進する。</p> <p>実施に当たっては、進展の早い先端技術や開発期間の短縮、省エネや低コストにつながる新たな開発方式を官民双方の衛星に適時取り入れられるよう、小型・超小型衛星によるアジャイル開発・実証を行う技術刷新衛星プログラムを構築し、技術の規模や成熟度に応じて適切に実証機会の取組と分担連携しながら、今中長期目標期間中に本プログラムの下で技術実証を行う。また、このプログラムを支える基盤技術（AI、ロボティクス、蓄電技術、半導体技術、デジタルライゼーションに関する技術等）の開発を、官民連携の下で着実に実施する。</p>	<p>②小型技術刷新衛星研究開発プログラム</p> <p>衛星開発・実証プラットフォームの下、各府省庁、大学・研究機関、ベンチャー企業を含む民間事業者等と連携し、官民で活用可能な挑戦的で革新的な衛星技術、我が国が維持すべき基幹的部品及び新たな開発・製造方式（デジタルライゼーション等）等の研究開発および軌道上実証に向け、公募及び選定作業を進める。</p> <p>実施に当たっては、進展の早い先端技術や開発期間の短縮、省エネや低コストにつながる新たな開発方式を官民双方の衛星に適時取り入れられるよう、小型・超小型衛星によるアジャイル開発・実証を行う技術刷新衛星プログラムを構築し、研究開発を推進する。本年度は、このプログラムで取り組む重点課題の識別を行う。また、このプログラムを支える基盤技術（AI、ロボティクス、蓄電技術、半導体技術、デジタルライゼーションに関する技術等）の開発について、JAXA外部との対話を、RFI等を活用して継続的に対話を行いつつ、官民双方で活用可能な基盤となる技術の識別を行い、本年度中に取りまとめ、優先度をもとに研究開発に着手する。</p>	<p>②小型技術刷新衛星研究開発プログラム</p> <p>小型・超小型衛星によるアジャイル開発・実証を行う技術刷新衛星プログラムを構築し、今年度より本格的な活動を開始した。本プログラムに係る有識者委員会を設置し、プログラムの基本的な目的・目標について委員会で議論し、これに基づき情報提供要請(RFI)を実施した。意見の分析および事業者への補完的なヒアリングに基づき重点課題を識別し、我が国の小型衛星コンステレーション事業の能力向上や軌道上での処理能力拡大、オープンなソフトウェアアーキテクチャ、システム開発のデジタル化に向けた研究会の立上げ等を行った。</p>	<p>—</p> <p>計画に基づき着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>③革新的衛星技術実証プログラム</p> <p>衛星開発・実証プラットフォームの下、大学や研究機関等に対し、新規要素技術や新規事業につながる技術、我が国の優れた民生部品・技術の実証機会を提供する。</p>	<p>③革新的衛星技術実証プログラム</p> <p>大学や研究機関等に対し、新規要素技術や新規事業につながる技術、我が国の優れた民生部品・技術の実証機会を提供し、技術的な支援を着実に行う。</p> <p>このため、革新的衛星技術実証2号機では、他機関が開発する超小型衛星等のインターフェースの調整支援等を行うとともに、小型実証衛星2号機の開発を完了し、打上げを行い、軌道上運用を開始する。</p> <p>革新的衛星技術実証3号機については、実証テーマや超小型衛星等のインターフェースの調整支援等を行うとともに、小型実証衛星3号機の詳細設計を完了し、次フェーズである維持設計フェーズに移行する。（令和2年度開発開始、令和4年度開発完了予定、令和4年度打上げ目標）</p>	<p>③革新的衛星技術実証プログラム</p> <p><プロジェクト> 2019年1月に打上げを行った革新的衛星技術実証1号機の実証後、実証テーマ機関において事業化等が進められている。</p> <p>革新的衛星技術実証2号機については、他機関が開発する超小型衛星4機・キューブサット4機のインターフェース調整を行うとともに、開発着手から21ヶ月の短時間で小型実証衛星2号機(RAISE-2)の開発を完了し、2021年11月9日に打上げを行い、軌道上運用を開始、2022年2月3日に初期運用を終え、定常運用に移行した。</p> <p>革新的衛星技術実証3号機では、実証テーマや超小型衛星等のインターフェースの調整支援等を行うとともに、小型実証衛星3号機(RAISE-3)の詳細設計を進めた。エンジニアリングモデル試験の遅れ等により、詳細設計は次年度初めに完了する予定。</p>	<p>—</p> <p>●革新的衛星技術実証1号機： 「革新的FPGA」の新会社であるナノブリッジ・セミコンダクター(株)では、企業向け試作品の販売実績をあげた。「革新的地球センサ・スタートラッカ(東京工業大学)」は、民間会社にて小型衛星用スタートラッカの量産体制を確立し販売中で、既に複数の衛星での採用が確定している。その他、製品の問合せ・引き合いも増加している。</p>
<p>④宇宙産業及びプロジェクトを支える科学技術基盤の強化</p> <p>我が国全体としての成果の最大化と波及拡大に貢献するため、JAXAの強みであるシミュレーション技術、高信頼性ソフトウェア技術、システム開発手法、高い国際競争力を有する搭載機器や部品等の分野において、競争的資金や民間資金を導入しつつ、産・官・学の連携を強化して研究開発等を行う。</p>	<p>④宇宙産業及びプロジェクトを支える科学技術基盤の強化</p> <p>我が国全体としての成果の最大化と波及拡大に貢献するため、JAXAの強みであるシミュレーション技術、高信頼性ソフトウェア技術、システム開発手法、高い国際競争力を有する搭載機器や部品等の分野において、競争的資金や民間資金の獲得に向けた提案を行いつつ、産・官・学の連携を強化して、研究開発を実施する。</p>	<p>④宇宙産業及びプロジェクトを支える科学技術基盤の強化</p> <p>開発・運用プロセスを革新するためのコア技術として、論理故障解析技術の研究、革新設計・ミッション創出に向けた数値シミュレーション技術の研究、不確定性の高いシステムの自律性向上を実現する基盤技術の構築、プロジェクト上流における複合モデルベースデザイン技術の構築に取り組んでいる。今年度は、液体ロケットエンジン燃焼器の実機スケール非定常燃焼解析を実現し、非定常燃焼現象の再現性が向上、現象理解・予測、トラブルシュートが可能となった。また、JAXA共通基盤となる上流検討のための宇宙機コンカレント設計環境の構築を進めた。</p>	<p>—</p> <p>計画に基づき着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	(続き)	<p>(続き)</p> <p>システム開発手法の研究として、初期検討プロセスの改善に向けたMBSE*に関する研究を行っている。また、プロジェクト移行後のリスク低減のため、さまざまなミッションの初期検討を実施し、社内の関係する活動を支援した。</p> <p>高度化するミッション要求に応えることができる機能・性能の部品を実現するため、計算機デバイスの高機能・プログラマブル化、電源用デバイスの大電力化対応と効率向上、ならびに先端民生部品技術の宇宙転用に取り組んでいる。今年度は、高い耐放射線性と超低消費電力の特性を兼ね備えたFPGA回路技術の構築を進めた。また、先端半導体デバイスに電圧を安定供給できる電源部品とデバイス発熱を抑制する基板技術を構築し、COTS FPGA*安定駆動と発熱抑制に成功した。</p> <p>さらに、自在性・計算能力を確保するため、高信頼性による安定的なシステム運用を支える基盤的な次世代MPU(SOI-SOC MPU*)の研究開発を進めた。</p> <p>宇宙活動における自在性・距離・時間の拡大に貢献するため、軸受、歯車等の機構部品や材料の耐環境性向上に取り組んでいる。超低軌道ミッションの実現に向けて、SLATS 搭載のAO(Atomic Oxygen)計測センサで得た知見の耐放射線設計ハンドブックへの反映、耐AO性コーティング技術の国際標準化(ISO 231129:2021)を実現する等の成果が得られた。</p> <p>事業化意欲の高い民間事業者が存在するホールスラスト技術の競争力強化に取り組んでおり、今年度は、出力電圧がワイドレンジでありながら、世界トップクラスの効率・電力密度のPPU(Power Processing Unit)を実現する等の成果が得られた。</p>	<p>(続き)</p> <p>計画に基づき着実に実施した。</p> <p>*MBSE: Model Based Systems Engineering</p> <p>*COTS: Commercial Off-The-Shelf FPGA: Bridge-Field Programmable Gate Array</p> <p>*SOI: Silicon On Insulator SOC: System On Chip MPU: Micro-Processing Unit</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き) 今後、宇宙利用の拡大に向けて、より拡充・強化すべき分野については、人材の流動化促進や公募型研究制度の活用により、宇宙分野と異分野や JAXA 外の先端知との糾合を図り、科学技術基盤の裾野の拡大に努める。</p>	<p>今後、宇宙利用の拡大に向けて、より拡充・強化すべき分野（通信、デジタル化等）については、人材の流動化促進や公募型研究制度の活用等により、宇宙分野と異分野やJAXA外の先端知との糾合を図り、科学技術基盤の裾野の拡大に資する研究を実施する。本年度は、通信技術やデジタル化を支える技術等の研究開発を行う。</p>	<p>(続き) 情報通信研究機構Beyond 5G研究開発促進事業において、「テラヘルツ帯通信の高密度化・長距離化に関する研究開発」（代表提案者：早稲田大学、提案者：日本電信電話株式会社、JAXA、三菱電機株式会社）が採択され、研究を開始。 総務省令和3年度情報通信技術の研究開発に係る公募において、「テラヘルツ波を用いた月面の広域な水エネルギー資源探査」（代表研究機関：情報通信研究機構、研究機関：東京大学、大阪府立大学、JAXA、Space BD株式会社）が採択され、研究を開始。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p>
<p>中長期的に取り組む宇宙太陽光発電システムに係るエネルギー送受電技術については、宇宙開発の長期的な展望を踏まえつつ、ワイヤレス給電等の地上技術への波及効果の創出に留意し、要素技術の宇宙実証を行い、着実に研究開発を行う。 研究開発環境の維持・向上に不可欠な研究開発インフラの老朽化対策等を進めるとともに、将来にわたり国際競争力を発揮する分野に関わる研究開発設備を強化する。</p>	<p>中長期的に取り組む宇宙太陽光発電システムに係るエネルギー送受電技術について、関連する研究開発に取り組む機関や宇宙分野以外の研究開発状況も把握しつつ、それらを踏まえて要素技術の研究開発を進め、要素技術の宇宙実証として予定している展開型軽量平面アンテナの詳細設計を完了する。（令和4年度宇宙実証予定） 研究開発インフラについては運用の効率化を進めるとともに、外部と連携した研究課題に必要なかつ老朽化したインフラについては対策を進める。</p>	<p>宇宙太陽光発電システムに係るエネルギー送受電技術について、関連する研究開発に取り組む機関や宇宙分野以外の研究開発状況も把握しつつ、それらを踏まえて要素技術の研究開発を進めた。大型宇宙構造物を軌道上で自動的に構築する技術の確立に向けて、パネル展開・結合機構を軌道上で実証する展開型軽量平面アンテナの詳細設計を完了し、プロトタイプモデルの製造に着手した。 JAXAで働く全ての方及びその家族並びに近隣の研究開発法人等の方々を対象に職域接種を実施し（延べ1860名）、新型コロナウイルス感染症の拡大防止に貢献するとともに、ユーザー意見等に耳を傾け、BCP発動期間中等においても柔軟に事業所運営を実施した。 また、事業所運営業務を通じ、新たな宇宙開発利用を生み出す研究開発環境の実現を目指し、職員がより専門性の高い業務に注力できる環境を構築するため、筑波宇宙センター所在の主要部門等の定型事務業務の統合・一括請負化を図り、リソースシフト及び経費節減に貢献した。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(2) 宇宙開発における新たな価値を創出する先導的な研究開発	(2) 宇宙開発における新たな価値を創出する先導的な研究開発	(2) 宇宙開発における新たな価値を創出する先導的な研究開発	—
(1) で実施する革新的な将来輸送システムに関する技術の研究開発プログラムや、産学官が連携して実施する革新的な衛星技術の実証に関する研究開発プログラム等の研究開発成果を踏まえつつ、我が国の宇宙システムの国際競争力の強化を目指し、以下の各分野の技術の統合化、システム化の研究開発を行う。	(1) で実施する革新的な将来輸送システムに関する技術の研究開発プログラムや、産学官が連携して実施する革新的な衛星技術の実証に関する研究開発プログラム等の研究開発成果を踏まえつつ、我が国の宇宙システムの国際競争力の強化を目指し、以下の各分野の技術の統合化、システム化の研究開発を行う。	(1) で実施する革新的な将来輸送システムに関する技術の研究開発プログラムや、産学官が連携して実施する革新的な衛星技術の実証に関する研究開発プログラム等の研究開発成果を踏まえつつ、我が国の宇宙システムの国際競争力の強化を目指し、以下の各分野の技術の統合化、システム化の研究開発を進めた。	—
①安全保障の確保及び安全・安心な社会の実現に貢献する研究開発	①安全保障の確保、安全・安心な社会の実現に貢献する研究開発	①安全保障の確保、安全・安心な社会の実現に貢献する研究開発	—
<p>スペース・デブリ対策の事業化を目指す民間事業者等と連携し、新たな市場を創出するとともに、デブリ除去技術を着実に獲得することで、我が国の国際競争力確保に貢献する取組を行う。重点課題として、大型のロケットデブリを対象とした世界初の低コストデブリ除去サービスの技術実証を実施する。</p>	<p>スペース・デブリ対策の事業化を目指す民間事業者等と連携し、民間事業者に裁量を持たせた新たなマネジメント方式で低コストデブリ除去サービスの技術実証に向けた第一歩である軌道上デブリ状況把握ミッションの詳細設計を完了し、審査を行う。また、次に実施することが予定されている軌道上デブリ除去ミッションの検討を始める。</p>	<p><プロジェクト>スペース・デブリ対策の事業化を目指す民間事業者等と連携し、軌道上デブリ状況把握ミッションの詳細設計を実施し、審査会により設計が完了していることを確認した。民間事業者に対する技術支援として、ランデブ技術を中心に運用・電気・機械・光学・耐環境・ターゲット情報等の幅広い分野について技術アドバイスの提供、研究成果の知財提供、試験設備の供与・試験ノウハウの提供を行った。また、次に実施することが予定されている軌道上デブリ除去ミッションの概念検討を実施するとともに、プロジェクト遂行に必要なキー技術について要素技術研究を行った。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き) デブリ発生を未然防止する技術については、JAXAの強みである高信頼の衛星・ロケット技術を基に民間企業が当該技術の導入をし易いように研究開発を行うとともに、軌道変更や大気圏への安全投棄の技術についての研究開発を行い、拡大する民間の宇宙利用活動に広く活用されることを目指す。また、デブリ状況の正確な把握のための地上観測技術や、宇宙環境モデル（軌道高度に対する密度分布等）等のモデリングに関する研究開発を行う。さらに、政府や内外関係機関と連携し、技術実証成果を基に、国連等の場におけるスペース・デブリ対策の国際ルール化の早期実現に貢献する取組を行う。</p> <p>また、観測センサの時間・空間分解能向上、通信のセキュリティ技術、宇宙環境計測、ロケット推進技術の極超音速飛行への応用等、社会価値の高い技術を中心に関係機関との連携を深めてニーズを発掘しつつ、研究開発を行う。</p>	<p>(続き) デブリ発生を未然に防止するための、JAXAのデブリ衝突損傷リスク解析ツールを、民間企業が導入しやすいように整備維持する。また、ミッション終了後の効率的な軌道変更や大気圏への安全投棄の技術についての研究を実施する。</p> <p>また、デブリ状況の正確な把握のための地上観測技術や、デブリ環境のモデル化に係る研究開発（データベースの整備維持、将来の増加傾向予測の解析等）を行う。</p> <p>さらに、事業化に向けて、政府や国内外関係機関と連携し、国際機関間スペースデブリ調整委員会（The Inter-agency Space Debris Coordination Committee : IADC）に参加して、宇宙デブリ対策の国際ルール化に向けた国際的な議論を進める。また、軌道上デブリ除去ミッションに向けた必要な議論を政府と調整し行う。</p> <p>上記のほか、静止常時地球観測に向けた赤外線(IR)センサ素子の研究等、観測センサの時間・空間・波長分解能向上、宇宙環境計測等の研究開発を関係機関との連携を深めながら行う。</p>	<p>(続き) JAXAのデブリ衝突損傷リスク解析ツールの整備維持を行った。また、ミッション終了後の効率的な軌道変更の研究として、帯電薄膜を利用した抗力増大装置の研究等を進めた。</p> <p>デブリの運動状態を知るための地上観測によるデブリの運動推定技術の研究を進め、地上からのデブリ観測を行い、光学シミュレータを利用した運動推定等を実施した。また、デブリ環境のモデル化に係る研究開発を行った。</p> <p>さらに、政府や国内外関係機関と連携し、宇宙デブリ対策の国際ルール化やデブリ除去の効果に関する議論等を進めた。</p> <p>赤外線センサのセンササブシステムの検討、検知器や冷却系の試作評価等を実施した。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p>
<p>②宇宙利用拡大と産業振興に貢献する研究開発</p>	<p>②宇宙利用拡大と産業振興に貢献する研究開発</p>	<p>②宇宙利用拡大と産業振興に貢献する研究開発</p>	<p>—</p>
<p>世界に先駆けた利用サービスや高い国際競争力を持つ宇宙システムの創出を目指し、民間事業者と協力し、市場ニーズを先読みした研究開発と技術実証を行う。具体的には、以下を重点課題とし、実現性の高い宇宙システム構想を明らかにするとともに、そのキーとなる技術を確立する。</p> <p>・高い信頼性と経済性を有する宇宙輸送サービスを実現する再使用型宇宙輸送システム技術</p>	<p>高い信頼性と経済性を有する宇宙輸送サービスを実現することを目指し、再使用型宇宙輸送システム技術の研究開発を進め、飛行試験を実施するとともに、その成果をもとにCNES、DLRと1段再使用飛行実験（CALLISTO）の基本設計を完了し、詳細設計を進める。</p>	<p>再使用型宇宙輸送システム技術の研究開発として、ロケット1段再使用化に向けた小型実験機(RV-X)の地上燃焼試験等を進め、エンジン予冷量、アクチュエータの制御特性、設備運用、試験手順、機体整備に係る知見を取得し、これらをCALLISTOの設計・検討に反映した。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	(続き)	<p>(続き)</p> <p>RV-Xエンジン燃焼試験中の画像や複数個所に取り付けた水素センサおよび水素検知テープにより、燃料主弁や燃焼中に熱や振動の負荷がかかる配管継手部分からの漏洩リスクが高いことを特定し、燃料主弁の最大使用圧力の適正化や配管継手部分等の組立誤差を無くすように微調整しながら慎重に組立てを行い、計8回の燃焼試験を安全に終了した。飛行試験については新型コロナの影響も受けた世界的な鉄鋼・半導体不足等により、試験の準備が遅れ、次年度に実施するよう計画を変更した。本計画変更は、CALLISTOのフライトソフトウェアのパラメータ設定や運用計画への反映には影響しないことを確認した。</p> <p><プロジェクト> CALLISTOでは、海外出張が厳しく制限され、遠隔会議でのCNES/DLRとの調整に時間を要していたが、2021年11月に感染対策に留意しつつ、3機関関係者で一堂に会する会合を設定することなどにより、インターフェース等の懸案事項の調整を大きく進捗させることで開発仕様をベースライン化し基本設計を完了し、ミッション目標成立の目処を得た。航空機の技術を応用した姿勢変更なしで平行移動ができる誘導制御アルゴリズムの獲得や、再整備に必要なヘルスマネジメント技術である、エンジンに用いるバルブ等のモデルベース故障診断について、RV-Xの試験データを活用した実機動作模擬精度の向上などの成果が得られた。</p>	(続き) 計画に基づき、着実に実施した。

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低コスト・大容量な高速衛星通信ネットワークを実現する光・デジタル技術 ・静止軌道からの常時観測を可能とする超高精度な大型光学センサ技術 	<p>(続き)</p> <p>世界に先駆けた利用サービスや高い国際競争力を持つ宇宙システムの創出を目指し、民間事業者と協力し、低コスト・大容量な高速衛星通信ネットワークを実現する光・デジタル技術及び静止軌道からの常時観測を可能とする超高精度な大型光学センサ技術について市場ニーズを先読みし、光増幅装置等に関する研究開発を実施する。また、ライダー観測技術について、要素技術の宇宙実証も見据えてレーザの省電力化検討、真空中寿命試験等の研究開発を着実に進める。</p>	<p>(続き)</p> <p>高速通信を実現する技術として光通信技術に取り組み、より長距離でも高速に通信が可能となる光増幅装置のEM試験を進めた。また、衛星-地上間の光通信確立のため、雲の影響を除去するサイトダイバシティの取組みについて、民間企業との共同研究としてスタートさせるとともに、DLR衛星を活用した衛星-地上間通信のための基盤技術(衛星追尾)の研究を進めた。電波通信については、MIMO(Multiple-Input and Multiple-Output)やVCM(Variable Coding and Modulation)の宇宙適用について研究を進め、VCMについてはRAISE-2に搭載し軌道上で実証実験を行った。MIMOはコンポーネントの開発を完了し、来年度の打上げに向けてRAISE-3システムにPFM引渡しを完了した。高速通信を支えるバス技術として、高排熱処理技術である二相流体ポンプルーブの適用検討に取り組みとともに、電力の増大への対応として電力制御器の高効率・小型化技術に取り組み、GaNを活用したMHzスイッチングによるバッテリー充電制御の軌道上実証を成功させた。</p> <p>静止軌道からの常時観測を可能とする超高精度な大型光学センサについて、概念検討、熱・構造・光学の性能解析、セラミックス製分割鏡の製造性実証等を進めた。また、静止光学衛星システムの概念検討を進め、観測の即時性、頻度等について技術実現性を検討した。</p> <p>ライダー観測技術について、レーザ送信部の増幅器の改良による省電力化検討、真空中寿命試験等の研究開発を進めた。また、グローバルに地盤面高さや森林の林冠高を高精度に推定する技術の実証として、ISS搭載ライダー実証MOLIのプリプロジェクト化を行い、ライダーシステムの概念設計を進めた。</p>	<p>●大容量データ伝送を実現する可変符号化変調(VCM)技術の獲得： 地球周回軌道の通信環境下においてQPSK~64APSKの変調方式を切り替えてもデータ欠損なく連続的に伝送できることを世界で初めて実証した。地上での研究開発成果と軌道上実証成果を組み合わせることにより、次期地球観測衛星等の観測要求に対応可能な大容量データ伝送システム実現の見込みを得た。</p> <p>●電力制御器の小型軽量化に繋がるGaNを適用した高速スイッチング電源技術の獲得： RAISE-2による軌道上実証を実施。世界初の軌道上でのMHzスイッチングによるバッテリー充電制御に成功。本技術を将来の大電力バスシステムに適用することにより、25kWクラスの通信衛星において75kgの軽量化が得られ、ミッション機器等の質量増加が実現できる。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p> <p>・宇宙機システム開発のライフサイクルを見通した新たな開発方式（デジタルライゼーション等）による短期開発・低コスト化技術</p> <p>さらに10年先を展望し、宇宙開発利用に新たなイノベーションを起こす革新的な技術として、衛星システム内のワイヤレス化、衛星機器の超小型化、ロボットによる軌道上での機器交換や補給・回収サービス、衛星データ活用へのAI応用等、新たな宇宙利用を生み出す研究開発と要素技術実証を行う。並行して、これらの技術を基にした新たなミッションを考案・発信し、潜在的なユーザーニーズや事業化アイデアの取り込み活動を推進する。</p>	<p>(続き)</p> <p>宇宙機システム開発のライフサイクルを見通した短期開発・低コスト化技術である新たな開発方式（デジタルライゼーション等）を実現する技術に係る研究開発として、実際に開発を進めている革新的衛星技術実証3号機の小型実証衛星3号機へのモデルベース・システムズ・エンジニアリング（MBSE）の部分的な適用等を進める。</p> <p>さらに10年先を展望し、宇宙開発利用に新たなイノベーションを起こす革新的な技術として、衛星システム内のワイヤレス化、ロボットによる軌道上での機器交換や補給・回収サービス、衛星データ活用へのAI応用等の、新たな宇宙利用を生み出す研究開発を行う。並行して、これらの技術を基にした新たなミッションを考案・発信し、事業化アイデアの取り込み活動を推進する。</p>	<p>(続き)</p> <p>MOLI: Multi-footprint Observation Lidar and Imager</p> <p>小型実証衛星3号機の開発にモデルベース・システムズ・エンジニアリング(MBSE)を部分適用し、データを一元管理/共有するシステムモデルの構築等を進めた。</p> <p>衛星システム内のワイヤレス化の技術実証として、ETS-9に搭載して技術実証を行うワイヤレス通信モジュールの開発を進め、試験により衛星内の閉鎖反射波環境でも安定した通信を確認する等、技術の実現性目途を得た。また、衛星のみならず次世代ロケット内のワイヤレス化、軌道上機器交換サービス等への実装検討を開始した。</p> <p>合成開口レーダの観測データ肥大化に対応するため、データを軌道上で画像化する技術の研究を進め、COTS品FPGAを活用した画像化装置(FLIP*)の製作・試験を実施した。</p> <p>有人宇宙活動の持続性・効率性を高めるため、ロボットによる撮影に係るクー省力化、実験タスクに係るクー省力化、船内貨物搬送による無人化に関する技術の研究を行った。実験タスクに係るクー省力化では、きぼう船内マウス実験に要するクーリソースの削減を目標とし、給水サブタスクの自律実行にJEM船内模擬環境において実証に成功した。</p> <p>月近傍で利用可能なGNSS航法の概念検討を進めている。月での信号受信能力を確認するためにリンク解析を行い、GPSだけの受信でもフィルタと組み合わせることで航法可能な可視衛星数が得られた。また、マルチGNSSにすると常時航法が可能な衛星数を確保でき、精度低下率(DOP)も低下することがわかった。</p>	<p>(続き)</p> <p>計画に基づき、着実に実施した。</p> <p>*FLIP: Fast L1 Processor</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>③宇宙科学・探査分野における世界最高水準の成果創出及び国際的プレゼンスの維持・向上に貢献する研究開発</p>	<p>③宇宙科学・探査分野における世界最高水準の成果創出及び国際的プレゼンスの維持・向上に貢献する研究開発</p>	<p>③宇宙科学・探査分野における世界最高水準の成果創出及び国際的プレゼンスの維持・向上に貢献する研究開発</p>	<p>—</p>
<p>国際宇宙探査において、我が国が高い技術と構想を持つて戦略的に参画するため、重点課題として、独自の技術で優位性を発揮できる環境制御・生命維持、放射線防護、重力天体等へのアクセス技術、重力天体上での観測・分析技術等の基盤的な研究開発を行う。</p>	<p>国際宇宙探査において、我が国が高い技術と構想を持つて戦略的に参画するため、重点課題として、独自の技術で優位性を発揮できる環境制御・生命維持、放射線防護、重力天体等へのアクセス技術、重力天体上での観測・分析技術等の基盤的な研究開発を行う。</p>	<p>国際宇宙探査において、我が国が高い技術と構想を持つて戦略的に参画するため、重点課題として、独自の技術で優位性を発揮できる環境制御・生命維持(ECLSS)等の研究を進めた。</p> <p>ECLSSでは、O₂製造のキー技術である水電気分解セルについて、JAXA開発膜を採用したPEM(固体高分子)カソードフィード方式のセルを用いて、高効率電解下での2000時間の運転を達成し、本方式による酸素製造が実現性を有することを確認した。また、尿再生ISS軌道上実証実験も進め、実尿相当の有機物を含む模擬尿が微小重力環境でも継続的に電気分解処理できることを実証した。</p> <p>深宇宙ランデブ技術として、HTV-Xのバーシングおよびドッキング用の相対航法センサ(Flash LIDAR)の研究を進め、EM製造・評価を行った。地球アルベドやサングリント対策として強力なレーザダイオードを採用し、それに伴う影響(ノイズ、迷光)等に対して回路調整や運用上の工夫を行っている。</p> <p>さらに、Gatewayへの物資補給を想定した、地球・月の重力の影響が複合的に作用する領域を利用する「近月点ランデブ法」を提案した。</p> <p>その他、重力天体上での観測・分析技術として放射線計測技術の高度化やワイヤレス用MLI等の基盤的な研究を行った。</p>	<p>計画に基づき、着実に実施した。</p> <p>*ECLSS: Environmental Control and Life Support System</p>

主な評価軸（評価の視点）、指標等

【多様な国益への貢献；宇宙科学・探査による新たな知の創造】

○世界最高水準の科学成果の創出や我が国の国際的プレゼンス維持・向上等に貢献する宇宙科学研究、宇宙探査活動、有人宇宙活動等の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

<評価指標>

（成果指標）

○宇宙科学・探査による新たな知の創造に係る取組の成果

（マネジメント等指標）

○研究開発等の実施に係る事前検討の状況

○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況

（例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

<モニタリング指標>

（成果指標）

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

（例：著名論文誌への掲載状況等）

○人材育成のための制度整備・運用の成果（例：受入学生の進路等）

（マネジメント等指標）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

（例：協定・共同研究件数等）

○人材育成のための制度整備・運用の状況

（例：学生受入数、人材交流の状況等）

○論文数の状況（例：査読付き論文数、高被引用論文数等）

○外部資金等の獲得・活用の状況

（例：科研費等の外部資金の獲得金額・件数等）

主な評価軸（評価の視点）、指標等

【多様な国益への貢献；宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現】

○新たな事業の創出等の宇宙利用の拡大及び産業振興、宇宙産業の国際競争力強化に貢献するための立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

<評価指標>

（成果指標）

- 宇宙を推進力とする経済成長とイノベーションの実現に係る取組の成果
（品質・コスト・スケジュール等を考慮した取組を含む）

（マネジメント等指標）

- 研究開発等の実施に係る事前検討の状況
- 研究開発等の実施に係るマネジメントの状況
（例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）
- 民間事業者等の外部との連携・協力の状況

<モニタリング指標>

（成果指標）

- 宇宙実証機会の提供の状況
（例：民間事業者・大学等への実証機会の提供数等）
- 研究開発成果の社会還元・展開状況
（例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、受託件数、ISS利用件数、施設・設備の供用件数等）
- 新たな事業の創出の状況
（例：JAXAが関与した民間事業者等による事業等の創出数等）
- 外部へのデータ提供の状況
（例：国内外の関係機関等への衛星データ提供数等）

（マネジメント等指標）

- 民間事業者等の外部との連携・協力の状況
（例：協定・共同研究件数、技術支援件数、JAXAの施策・制度等への民間事業者・大学等の参入数又は参加者数等）
- 外部資金等の獲得・活用の状況
（例：民間資金等を活用した事業数等）

主な評価軸（評価の視点）、指標等

【多様な国益への貢献；産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化】

○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発活動の立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

<評価指標>

（成果指標）

○産業・科学技術基盤を始めとする我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に係る取組の成果

（マネジメント等指標）

○研究開発等の実施に係る事前検討の状況

○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況

（例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

<モニタリング指標>

（成果指標）

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

（例：基幹ロケットの打上げ成功率・オンタイム成功率等）

○宇宙実証機会の提供の状況

（例：民間事業者・大学等への実証機会の提供数等）

○研究開発成果の社会還元・展開状況

（例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、受託件数、ISS利用件数、施設・設備の供用件数等）

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

（例：著名論文誌への掲載状況等）

（マネジメント等指標）

○大学・海外機関等の外部との連携・協力の状況

（例：協定・共同研究件数等）

○人材育成のための制度整備・運用の状況

（例：学生受入数、人材交流の状況等）

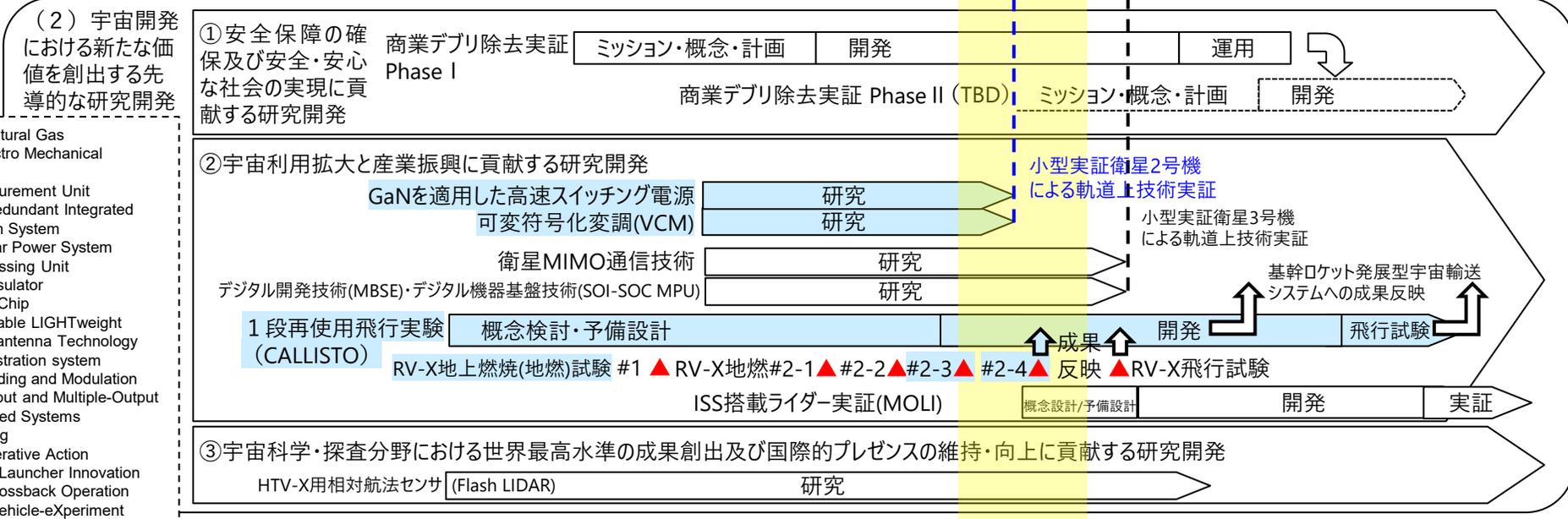
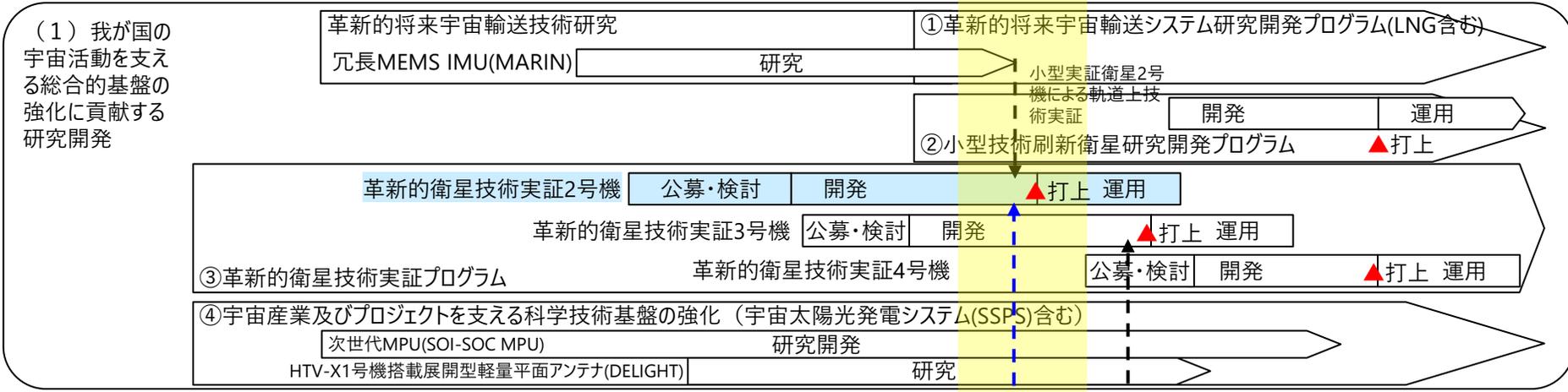
○論文数の状況（例：査読付き論文数、高被引用論文数等）

○外部資金等の獲得・活用の状況

（例：外部資金の獲得金額・件数等）

スケジュール

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------



- LNG: Liquefied Natural Gas
- MEMS: Micro Electro Mechanical Systems
- IMU: Inertial Measurement Unit
- MARIN: MEMS Redundant Integrated Navigation System
- SSPS: Space Solar Power System
- MPU: Micro-Processing Unit
- SOI: Silicon On Insulator
- SOC: System On Chip
- DELIGHT: Deployable LIGHTweight planar antenna Technology demonstration system
- VCM: Variable Coding and Modulation
- MIMO: Multiple-Input and Multiple-Output
- MBSE: Model Based Systems Engineering
- CALLISTO: Cooperative Action Leading to Launcher Innovation for Stage Tossback Operation
- RV-X: Reusable Vehicle-eXperiment
- MOLI: Multi-footprint Observation Lidar and Imager
- LIDAR: Light Detection And Ranging

年度	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Ⅲ. 4. 2 新たな価値を実現する宇宙産業基盤・科学技術基盤の維持・強化 (スペース・デブリ対策、宇宙太陽光発電含む)

2021年度 自己評価 **A**

【評定理由・根拠】

我が国の宇宙活動の自立的・持続的発展と関連産業の国際競争力強化に貢献するため、宇宙産業基盤・科学技術基盤に係る研究開発を進め、特に、(1)我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化として、**将来宇宙輸送システムの低コスト化**に繋がるロケット1段再使用化に向けた小型実験機(RV-X^{*1})とロケット再使用に向けた飛行実験(CALLISTO^{*2})の成果、**新規要素技術や新規事業の創出**に繋がる革新的衛星技術実証プログラムの成果、**将来の地球観測・高速通信衛星の競争力強化**に繋がる成果；(2)異分野連携と人材糾合、オープンイノベーションによる共同研究成果の民間事業化・宇宙活用に係る研究開発を通して新たな企業・研究機関等の参入に寄与し、これまでの成果の企業による事業化・宇宙ミッションへの適用等に関する成果が得られた。これらの成果は、民間の宇宙産業参入促進・国際競争力強化・社会実装等に繋がっており、特に顕著な成果を創出したと評価する。また、商業デブリ除去実証(CRD2^{*3})[参考1]や宇宙太陽光発電(SSPS^{*4})の研究開発[参考2]等を着実に進めた。主な業務実績・成果は以下のとおり。

(1)我が国の宇宙活動を支える総合的基盤の強化に貢献する研究開発

●将来宇宙輸送システムの低コスト化に繋がる成果[補足1]

我が国の宇宙輸送システムの自立性の継続的な確保や将来の市場における競争力強化のため、主にロケット機体の再使用化をはじめとした低コスト化技術を適用することにより、H3ロケットの1/2程度の打上げコストを目標とする「基幹ロケット発展型宇宙輸送システム」の実現を目指している。2026年頃のサブスケール飛行実証に繋げることを当面の目標とし、必要な要素技術開発として、性能向上(推進効率の向上、構造効率向上、搭載部品性能向上、システムの高度化)と低コスト化(再使用化、部品・材料等の低コスト化、生産工程の革新化)に関する研究開発を進めている。

RV-XはCALLISTOのフロントローディングの位置づけで研究を進めている小型ロケット実験機であり、CALLISTOで採用が決まっているJAXAで開発した高性能なスロットリング機能を持つ液酸液水再使用ロケットエンジンを搭載しており、特に低高度領域の繰り返し飛行実証を目標としている。今年度は、フライトシーケンスに従ったエンジンの燃焼試験等を進め、エンジン予冷量、アクチュエータの制御特性、設備運用、試験手順、機体整備に係る知見を取得し、これらを**CALLISTOの設計・検討に反映**した。再使用化に向けては、**エンジンを安全に繰り返して使用するために、エンジンからの水素漏洩を防止することが重要である。エンジン燃焼試験中の画像や複数個所に取り付けた水素センサおよび水素検知テープにより、燃料主弁や燃焼中に熱や振動の負荷がかかる配管継手部分からの漏洩リスクが高いことを特定し、燃料主弁の最大使用圧力の適正化や配管継手部分等の組立誤差を無くすように微調整しながら慎重に組立てを行い、計8回の燃焼試験を安全に終了**した。今年度計画していた飛行試験については、新型コロナの影響も受けた世界的な鉄鋼・半導体不足等により、試験の準備が遅れたため次年度に実施するが、CALLISTOのフライトソフトウェアのパラメータ設定や運用計画への反映には影響しない。

CALLISTOではシステムレベルのキーとなる技術に関して、小型実験機による飛行実験により、技術成熟度の向上のためのデータ取得、および再使用による経済的な効果の評価に必要なデータを蓄積することを目標としている。今年度は、**海外出張が厳しく制限され、遠隔会議でのCNES/DLRとの調整に時間を要していたが、2021年11月に感染対策に留意しつつ、3機関関係者で一堂に会する会合を設定することなどにより、インターフェース等の懸案事項の調整を大きく進捗させることで開発仕様をベースライン化し基本設計を完了し、ミッション目標成立の目処を得た**。航空機の技術を応用した姿勢変更なしで平行移動ができる誘導制御アルゴリズムの獲得や、再整備に必要なヘルスマネジメント技術である、エンジンに用いるバルブ等のモデルベース故障診断について、RV-Xの試験データを活用した実機動作模擬精度の向上などの成果が得られた。

*1 RV-X: Reusable Vehicle-eXperiment, *2 CALLISTO: Cooperative Action Leading to Launcher Innovation for Stage Tossback Operation, *3 CRD2: Commercial Removal of Debris Demonstration, *4 SSPS: Space Solar Power System

【評定理由・根拠】（続き）

●新規要素技術や新規事業の創出に繋がる革新的衛星技術実証プログラムの成果、将来の地球観測・高速通信衛星の競争力強化に繋がる成果

昨今の新興企業も含めた宇宙市場の拡大・競争の激化、政府・民間におけるコンステレーションニーズの拡大、ならびに産業のデジタル化といった衛星事業を取り巻く急速な環境変化を踏まえ、軌道上実証機会のタイムリーな提供による衛星産業の国際競争力の獲得・強化、宇宙事業へのデジタル技術活用の観点でシステム開発プロセスのデジタル化や衛星のソフトウェア化を目指した研究課題に重点を置き、先を行く地上技術も取り入れながら研究開発を推進している。

軌道上実証機会のタイムリーな提供として「革新的衛星技術実証プログラム」は、2015年から活動を開始し、2019年に1号機、2021年に2号機を打ち上げ、**新たなプレーヤーも含めタイムリーな軌道上実証機会の提供を実現し、1号機ではNB-FPGA^{*5}や革新的地球センサ・スタートラッカで販売・衛星への採用等の成果が上がっている。**部品・コンポーネントの実証を行う小型実証衛星2号機(RAISE-2^{*6})の開発では、**実証テーマ機器向けの衛星シミュレータの導入などの工夫により開発着手から21ヶ月でロケットへの引渡しを実現し、また、様々な実証テーマを搭載可能な標準バスとして、適時かつ安価に実証機会を提供するための100kg級の衛星技術実証プラットフォームを確立した。**この実績・得られた知見を小型実証衛星3号機(RAISE-3)の開発に活用し、確実な開発を引き続き行う。**[補足2]**

また、「革新的衛星技術実証プログラム」ではフレキシブルな衛星開発手法を早いサイクルで実証することも目指し、小型実証衛星の開発において開発プロセスのデジタル化に向けたMBSE^{*7}の適用を進めている。JAXA内およびJAXA/企業間で情報の一元管理/共有が可能なシステムモデルについて、RAISE-2の開発結果も活用して構築を進め、RAISE-3の開発ではJAXAで初めてMBSEを本格導入し、一部の設計文書・データの管理等に利用している。4号機の衛星開発ではMBSEをすべての設計文書・データの管理等に利用することを目指し、現在進めているRAISE-3の開発において、MBSE実施環境/手順の構築、MBSEを用いた審査会等が実施できることの実証を進めている。**[参考3]** さらに、衛星の新たな開発・製造方式(デジタルイゼーション等)等のアジャイル開発・実証の取組みを「小型技術刷新衛星研究開発プログラム」において今年度より開始した。

デジタル技術の活用の観点で、今後地球観測を中心に増大するデータ量に対応するための技術として、変調方式を可変可能なVCM^{*8}技術の研究に取り組んでいる。地球周回軌道の通信環境下においてデータ欠損を発生させないVCM直接伝送システムを早期に実証するために、データ発生、符号化、変調回路、及びそれらの制御回路をCOTS^{*9}品の高速FPGAに実装した小型送信機を開発、RAISE-2に搭載し、**地球周回軌道の通信環境下においてQPSK~64APSK^{*10}の変調方式を切り替えてもデータ欠損なく連続的に伝送できることを世界で初めて実証した。**地上での研究開発成果と軌道上実証成果を組み合わせることにより、**次期地球観測衛星等の観測要求に対応可能、かつ従来衛星等を超える大容量データ伝送システム実現の見込み**を得た。**[補足3]**

デジタル化に伴う高速通信衛星に求められる大電力バスシステムでは、衛星全体の電力制御を担う電力制御器の小型軽量化が求められている。本研究では、現行のSiパワーデバイスでは実現できない高速スイッチング電源の小型軽量化を目指して、**GaN(窒化ガリウム)パワーデバイスによるMHzスイッチング技術および高周波化に伴うスイッチングノイズの抑制技術を確立し、RAISE-2による世界初の軌道上でのMHzスイッチングによるバッテリー充電制御に成功した。**本技術を将来の大電力バスシステムに適用することにより、25kWクラスの通信衛星において75kgの軽量化が得られ、ミッション機器等の質量増加が実現できる。さらに、小型衛星用電力制御器に本技術を適用しても、海外同品種に対して大きな競争力が見込める。この成果を小型衛星の電源に適用すべく検討を進めている。**[補足4]**

*5 NB-FPGA: Nano Bridge-Field Programmable Gate Array, *6 RAISE-2: Rapid Innovative payload demonstration Satellite-2, *7 MBSE : Model Based Systems Engineering, *8 VCM: Variable Coding and Modulation, *9 COTS: Commercial Off-The-Shelf, *10 Amplitude and Phase-Shift Keying

【評定理由・根拠】（続き）

(2)異分野連携と人材糾合、オープンイノベーションによる共同研究成果の民間事業化・宇宙活用[補足5]

宇宙探査等と地上でのビジネスの双方に有用な技術(Dual Utilization)等についてオープンイノベーションの仕組みを拡大・発展させるべく共同研究公募を行い、FY2021に新たに19件の共同研究を開始し、新たに38の企業・研究機関等が参加した。うち約9割がこれまで宇宙分野に関わりがなかったもの、企業のうち約4割が中小・ベンチャー企業であった。また、クロスアポイントメントにより、異分野企業から5名が参加。引き続き異分野からの更なる興味関心と理解を得、参画の促進を図るべく、探査ハブを取り巻く状況の変化や新たに取り組むべき範囲についてまとめた「宇宙探査イノベーションハブビジョン」を制定し、連携拡大・促進の取り組みを推進した。

共同研究の成果が、事業として製品化や宇宙分野での活用の決定につながった。事業化の例としては、可搬型高感度・高精度揮発性物質センサの研究成果を活用した超小型高性能ガスクロマトグラフ(ボールウェーブ)の地上用プロトタイプを開発、提供開始された。宇宙活用としては、2022年度打上げ予定のSLIMに搭載されるLEVシステムには、超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバ(エクストコム)及びモータ軸受け(新明和工業)がLEV1部品として、変形型月面ロボット(タカラトミー、ソニーほか)がLEV2として採用、開発完了した。

さらに、ISS日本実験棟「きぼう」において、袋型培養槽によるレタス栽培実証(竹中工務店・キリンほか)を実施(軌道上実験については、III.3.8項参照)、また、全国体リチウムイオン電池の実証実験(日立造船)を開始した。また、共同研究を実施していた遠隔施工技術(鹿島建設)の研究テーマが国土交通省のスターダストプログラム「宇宙無人建設革新技術開発推進事業」に採択されたほか、ムーンショット型研究開発では月面拠点構築をゴールとしたAI研究に参加するなど、他制度と連携した宇宙探査研究の拡大が着実に進展しており、オープンイノベーション型研究制度を起点とした成果創出、成果活用が進んでいる。

なお、年度計画で設定した業務は、概ね計画通り実施した。

補足 1 : 将来宇宙輸送システムの低コスト化に繋がるRV-X/CALLISTOの成果

背景 : ロケット1段再使用化に向けた小型実験機(RV-X)とロケット再使用に向けた飛行実験(CALLISTO)の意義・価値

我が国の宇宙輸送システムの自立性の継続的な確保や将来の市場における競争力強化のため、基幹ロケット再使用1段も含め、**再使用型輸送システムに共通的に必要となる技術獲得**を目指している。

<RV-X> CALLISTOで採用が決まっているJAXAで開発した高性能なスロットリング機能を持つ液酸液水再使用ロケットエンジンを搭載しており、特に**低高度領域の繰り返し飛行実証を目標**としている。

<CALLISTO> システムレベルのキーとなる技術(誘導制御、推進薬マネジメント、再使用設計、再使用運用、ヘルスマネジメント)に関して、小型実験機による飛行実験※により、**技術成熟度の向上のためのデータ取得、および再使用による経済的な効果の評価に必要なデータを蓄積することを目標**としている。 ※CALLISTOの機体規模(打上時質量3~4トン)でミッションの一つとしているマッハ1以上に到達し、かつ着陸して繰り返し飛行できるロケットはこれまで例がない

【令和3年度計画】

- 再使用型宇宙輸送システム技術の研究開発を進め、飛行試験を実施するとともに、その成果をもとにCNES、DLRと1段再使用飛行実験(CALLISTO)の基本設計を完了し、詳細設計を進める。

プロジェクトの進捗、得られたアウトプット



図1 エンジン地上燃焼試験 (エンジン推力100%)

<RV-X>

- フライトシーケンスに従ったエンジン地上燃焼試験(図1)を繰り返し実施。
 - エンジン予冷量
 - アクチュエータの制御特性
 - 設備運用、試験手順、機体整備に係る知見
- を取得し、CALLISTOの設計・検討に反映。

成果
引渡し



図2 傾いた状態で機体落下試験

- 再使用化に向けては、エンジンを安全に繰り返し使用するために、エンジンからの水素漏洩を防止することが重要である。エンジン燃焼試験中の画像や複数個所に取り付けた水素センサおよび水素検知テープにより、**燃料主弁や燃焼中に熱や振動の負荷がかかる配管継手部分からの漏洩リスクが高いことを特定し、燃料主弁の最大使用圧力の適正化や配管継手部分等の組立誤差を無くすように微調整しながら慎重に組立てを行い、計8回の燃焼試験を安全に終了**。
- トータルで161回の過去に例のない使用実績を誇るエンジンコンポーネントに対して**分解点検を繰り返しても、全スロットリング範囲で推力・混合比・温度等が分解前後でほぼ変化せず、性能の再現性が極めて良いことを確認**した。将来輸送系を念頭に100回以上の繰り返し使用を考慮したエンジン設計を行っており、**繰り返し高負荷のかかる燃焼器は寿命評価を行った上で適切な肉厚を確保したため変形がほとんどなく、またポンプに複数の点検ポートを確保することでシールの摩耗点検を容易にしたり、オンスタンドでのシール交換を見越して脱着可能な部品を確保したりと点検・交換などのメンテナンス性を考慮した設計を行ったことで組立再現性の良いシステムであることが実証**できた。合わせて再使用エンジンに対するメンテナンスについての知見を蓄積することができた。
- 機体落下試験(図2)を通して、**最悪を想定した姿勢や落下速度でも安全に着陸できることを確認、フライト形態での機体の健全性を確認**した。

<CALLISTO>

- 海外出張が厳しく制限され、遠隔会議でのCNES/DLRとの調整に時間を要していたが、2021年11月に感染対策に留意しつつ、3機関関係者で一堂に会する会合を設定することなどにより、**インターフェース等の懸案事項の調整を大きく進捗させることで開発仕様をベースライン化し基本設計を完了し、ミッション目標成立の目処を得た**。
- CNES/DLRと連携することで、**着陸時の放射加熱見積が過大であることを突き止め、断熱材量の削減に伴う大幅な質量軽減を達成、再使用ロケットのシステム成立解を得ることができた**。

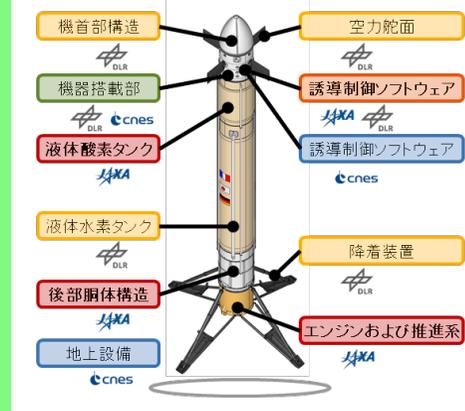


図3 CALLISTO (主要コンポーネント開発分担)

得られた“キー技術” *CCV: Control Configured Vehicle

- 航空機のCCV*技術(直接力制御)を応用した**姿勢変更なしで平行移動ができる誘導制御アルゴリズム**を獲得。また、風の影響を除去するロジックを工夫し、姿勢制御の精度が大幅に向上。
- RV-X試験データを利用して流体制御に用いる電動アクチュエータ・バルブ動作のモデルの改良(制御遅れモデル/摩擦・摺動抵抗モデルの追加)を進め、実機動作模擬の精度が向上。**RV-Xの成果をデジタルツインモデル構築につなげた成果**であり、本技術によりモデルベース故障診断技術が進展。

補足 2 : 新規要素技術や新規事業の創出に繋がる革新的衛星技術実証プログラムの成果

背景 : プログラムの意義、これまでの取組み

本プログラムでは、**軌道上実証機会の提供**により、(1)衛星産業の国際競争力の獲得・強化、(2)新規の民間企業等参入による宇宙利用拡大の促進、(3)優秀な人材の育成等を目的としている。

革新的衛星技術実証1号機(7機の衛星、10機関による13の実証テーマ)は、2019年1月に打ち上げられた。小型実証衛星1号機(RAPIS-1)は、約1年間の運用を行い、各実証テーマの所定の機能性能実証を完了し、2020年6月に停波した。

革新的衛星技術実証2号機では、公募により部品・コンポーネント6テーマ、超小型衛星・キューブサット各4機の合計14の実証テーマを選定し、小型実証衛星2号機(RAISE-2)の開発を進めてきた。

【RAISE-2の目標】

- ・実証テーマへの軌道上実験環境及びデータの提供
- ・適時かつ安価な軌道上実証を継続的に提供可能とする標準バスの開発
- ・「JAXAコーディネート※」による小型標準バスの能力向上、先端的技术の実証
※JAXAの技術を活用することで、ミッションの実証価値をより向上させる取組

【課題】

- ①短期開発スケジュール(開発着手から21ヶ月でロケットへ引渡し)
- ②標準バスとしての実証テーマ機器とのインターフェース汎用化・標準化

得られたアウトプット : 衛星技術実証プラットフォームとして、1号機に続き2号機の打上げ成功

革新的衛星技術実証1号機及び2号機により、全27の実証テーマ(大学、企業等21機関)に実証機会を提供

革新的衛星技術実証1号機に続き、2号機(9衛星、14機関による14の実証テーマ)を2021年11月9日に打ち上げ、RAISE-2は2022年2月に定常運用に移行した。

①RAISE-2(100kg級衛星)は、RAPIS-1(200kg級衛星)の知見を活用しつつ、**EM(Engineering Model)をフル活用した試験の並行実施**、**STM(Structural Thermal Model)試験データを有効活用したPFM(Proto-Flight Model)機械環境試験での評価内容見直し**や、**実証テーマ機器向けの衛星シミュレータの導入**などの工夫を用い、**21ヶ月での開発を実現**した。

②実証テーマ機器へのインターフェース仕様に関して、**RAISE-2で必要なリソース+αの開発仕様(電源ch、信号ch数の増設やSpaceWire(通信インターフェース)にも対応可能)を設定**し、様々な実証テーマを搭載可能な標準バスとして、適時かつ安価に実証機会を提供するための**100kg級の衛星技術実証プラットフォームを確立**した。

また、RAISE-2ではJAXAの技術を活用した2つの機器を搭載しており、実証テーマ機器X-band送信機(3D-XTX)では「可変符号化変調(VCM)機能」の軌道上実証を、GaN(窒化ガリウム)素子を用いたバッテリー充電制御器(GaN_BCR(Battery Charge Regulator))では「GaN素子によるバッテリー充電制御」の軌道上実証を実現した。



得られたアウトカム : 革新1号機※

- ・革新的衛星技術実証1号機の実証後、実証テーマ機関において事業化等が進められており、「革新的FPGA」の新会社であるナノブリッジ・セミコンダクター(株)では、**企業向け試作品の販売実績をあげた**。「革新的地球センサ・スタートラッカ(東工大)」は、民間会社にて小型衛星用スタートラッカの量産体制を確立し販売中で、**既に複数の衛星での採用が確定**している。
- ・製品の間合せ・引き合いも増加しており、「粒子エネルギー spektrometer(宇宙システム開発利用推進機構)」は**2024年までに3機打上げ予定**、「超小型・省電力GNSS受信機(中部大学)」は小型実証衛星2,3号機でも採用、「軽量太陽電池パドル」は、**LUXEX(月極域探査プロジェクトの月面探査ローバ)に採用決定**、薄膜太陽電池のみは、**SLIM(小型月着陸実証機)等の多くの衛星で採用予定**。

※FY2019業務実績報告において示したアウトカム以降、さらに得られたアウトカムの内容を記載

期待されるアウトカム : 革新2号機、3号機

- ・RAISE-2に搭載された「マルチコア・省電力ボードコンピュータ SPRESENSE™(ソニーセミコンダクタソリューションズ(株))」は、既に**SLIM搭載探査ロボットに搭載が決定**し、軌道上実証成果を基にCubeSatへの搭載に向けた引き合いも来ており、今後一層の活用が期待される。
- ・GaN_BCRの技術を100kg級小型衛星に活用することで、電力制御器の質量・サイズを低減させ、ミッション機器へのリソース(質量、スペース、電力)を増やすことができる。
- ・RAISE-2での実績・知見も活用することで、革新的衛星技術実証3号機の小型実証衛星3号機(RAISE-3)の確実な開発を引き続き行う。

補足 3 : 可変符号化変調(VCM)を用いた大容量データ伝送技術の獲得

研究の背景：地球観測衛星のデータ伝送量増大への対応

- 地球観測データは圧縮された後に欠損なく伝送される必要があり、最低仰角(通信距離が最長)でも通信品質を満たすようにデータ伝送速度は固定(CCM*1)されていた。
 - 固定のデータ伝送速度では、**観測センサの性能向上や観測範囲の拡大によって増大するデータ量に対応しきれなくなる**ことから、地上局運用仰角の変化に応じて符号化率や変調方式を切り替えることで**データ伝送速度を可変にする(VCM*2)直接伝送システム(DT*3系)の検討を開始した(図1)**。
- *1 CCM: Constant Coding and Modulation; *2 VCM: Variable Coding and Modulation; 可変符号化変調,
*3 DT: Direct Transmission; 直接伝送, *4 QPSK: Quadrature Phase Shift Keying; 4位相偏移変調,
*5 APSK: Amplitude and Phase-Shift Keying; 振幅位相変調

目標 先進レーダ衛星で採用されているデータ伝送速度(3.6Gbps)を超えるデータ伝送容量を実現し、次期地球観測衛星等の観測要求に応えられる大容量データ伝送システムを実現する。

課題 データ高速化かつ変調方式(QPSK*4~64APSK*5まで)を連続的に切替えた際のデータ欠損を発生させない。**地球周回軌道の通信環境下においてデータ欠損を発生させない伝送システムであることを早期に実証する。**

得られたアウトプット：データ欠損なく伝送速度を可変できる高速伝送システムを実現

【データ高速化】

データ高速化に直結する変調方式のみ可変(符号化率、送信電力は固定)として、CCMからの送信機設計変更箇所を限定し、VCM送信機(BBM, Bread Board Model)の製作、地上試験により以下の2つのデータ高速化の技術的実現性を検証した。

- * 1chあたり1.8~3.6Gbps (図2青字)
- * 周波数多重2chと偏波多重2chを組合せた4ch多重化伝送 (図2赤字)

【データ欠損防止】

- 衛星と地上局の相対位置変化による周波数、信号レベル変動に起因した地上局受信機性能劣化とは別に、データ欠損につながる性能劣化を助長させない、**変調方式を切り替えても信号スペクトル波形に有意な変化がない送信機設計(シンボルレートを一定にすることで受信機の信号同期外れによるデータフレーム欠損を防止)**を実施。本設計の妥当性や変調方式切り替えタイミング等の送信機制御性能評価のため、軌道上通信実験を計画。
- 最新のデジタル技術を活用し**、データ発生、符号化、変調回路とそれらの制御回路をCOTS品の高速FPGAに実装した小型送信機を製作、2021年11月打上げの小型実証衛星2号機(RAISE-2)に搭載。
→ **地球周回軌道衛星-地上局間の通信においてQPSK⇔8PSK⇔16APSK⇔32APSK⇔64APSKの変調方式を動的に切り替えてもデータ欠損なく連続的に伝送できることを世界で初めて実証した。**
- 地上での研究開発成果と軌道上実証実験成果を組み合わせることにより、次期地球観測衛星等の観測要求に対応可能、かつ従来衛星等を超える大容量データ伝送システム実現の見込みを得た(図1下、図3)。

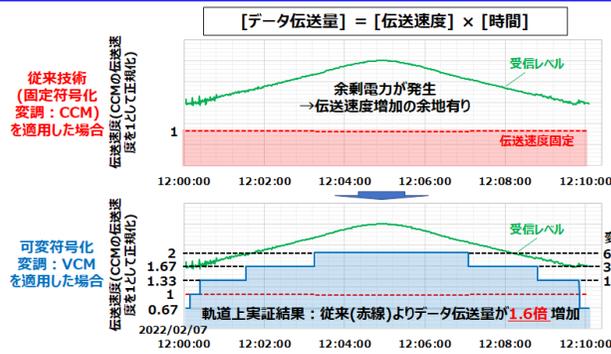


図1 従来技術とVCMの伝送速度の比較(送信電力固定時)

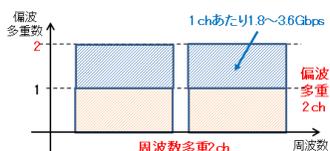


図2 周波数多重2chと偏波多重2chを組合せた4ch多重化伝送



図3 伝送速度ベンチマーク

得られたアウトカム

- 地上での研究開発成果と軌道上実証実験成果を地球観測衛星プロジェクトを担当する第一宇宙技術部門に速やかにアウトプットした結果、**研究評価委員会にて本研究成果の適用を前提とした次期地球観測衛星のシステム構成が提案され、審査の結果ミッション定義フェーズへの移行が認められた。**
- VCM試作機(BBM)試験結果を元にDVB-S2X規格をCCSDS*6 Orange BookとすることをCNES/JAXA共同で提案し、CCSDS会合を経て正式に制定された。

*6: Consultative Committee for Space Data System; 宇宙データシステム諮問委員会。各国の宇宙機関により設立された宇宙データ通信システムに関する国際標準化検討委員会であり、国際標準化機構(ISO)の宇宙データ通信分野の分科会の役割を担う。

期待されるアウトカム

- データ中継衛星など高速フィードリンク回線が必要な衛星通信にて本研究成果を活用することにより、運用途中でミッションが変更になりデータ伝送要求が変わってしまうユースケースに対してもフレキシブルに対応できる。

補足4：電力制御器の小型軽量化に繋がるGaNを適用した高速スイッチング電源技術の獲得

背景：高速スイッチング電源の技術課題

本技術適用先（電力制御器：PCU）の課題

- ・国産衛星における電力質量比の軌道上実績は200W/kgであるが、**現行のSiパワーデバイスでの小型軽量化に限界**があり、高速通信衛星に求められる大電力バスシステムでは、バス機器の中でも質量占有率が比較的大きいPCUの小型軽量化が求められている。
- ・**スイッチング周波数を上げることで小型軽量化が期待**されるが、パワーデバイスの性能及びEMC規格を満たすために**容易には周波数を上げることができない**。

【目標】

スイッチング性能に優れるGaN(窒化ガリウム)パワーデバイスを適用し、**高効率かつ高速スイッチングを実現することにより**、Siパワーデバイスでは、実現できない小型軽量化（高速スイッチングによる平滑回路の削減、図1）により**世界トップレベルの500W/kg**を目指す。

課題 GaNによるMHzスイッチング技術、および高周波化に伴うスイッチングノイズの抑制技術の確立

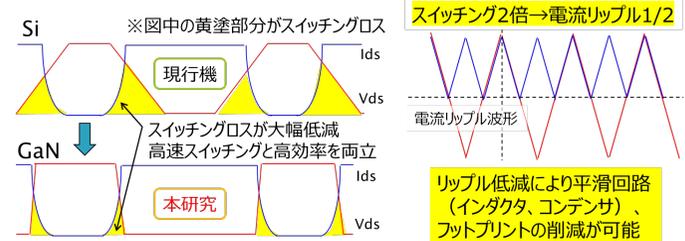


図1. パワーデバイスのON/OFF動作（スイッチング）波形

得られたアウトプット：MHzスイッチング及びノイズ抑制技術

【MHzスイッチング技術】

- ・1MHzという高速なスイッチング制御動作を実現するために、**FPGA*1でのGaN-FET*2駆動用のスイッチング信号生成回路の高速化に特化**するとともに、**アナログデジタル変換の分解能とパルス幅変調デューティの分解能を向上させる処理**を考案した。

【スイッチングノイズ抑制技術】

- ・**高速化に伴い発生するスイッチングノイズの抑制を目指してインハウスで試作を重ね(図2)、回路基板上的部品配置と、ノイズ発生源である基板上的電流経路面積の最小化**によって、効率的にノイズ抑制できる実装設計技術を考案した。

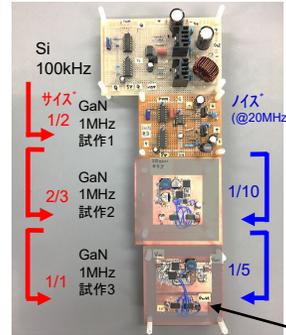


図2. 回路試作例

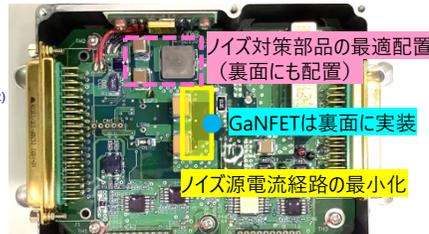


図3. GaN_BCR電力基板写真

サイズ：部品が配置されている部分の面積

これらの技術を基に、GaN_BCR(Battery Charge Regulator、図3)を開発。高効率MHzスイッチングにおける、**バッテリー充放電に必要なCC/CV*3フィードバック制御を実現するとともに、衛星に求められるノイズ規格(EMC*4規格MIL-STD-461C)を満足**することを地上試験で確認。

RAISE-2搭載実証機器として、**軌道上で世界初のMHzスイッチングによるバッテリー充電に成功**した。軌道上で取得した効率は、地上で取得した基板温度に対する効率の上下限範囲に入っており、地上と同等の性能であることを確認した(図4)。

*1 FPGA: Field Programmable Gate Array, *2 FET: Field Effect Transistor, *3 CC/CV: Constant Current/Constant Voltage, *4 EMC: Electromagnetic Compatibility

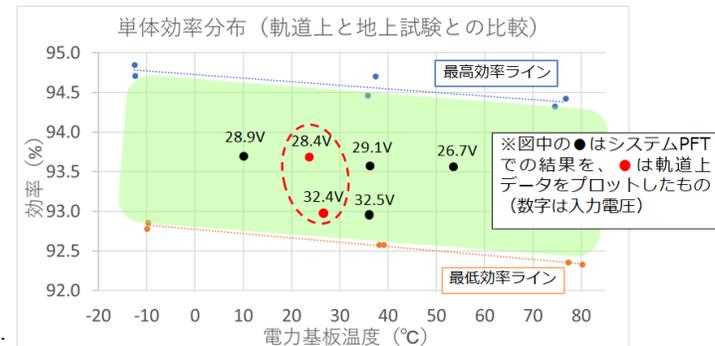


図4. 効率vs電力基板温度(地上試験および軌道上)

期待されるアウトカム

本技術を将来の大電力バスシステムに適用することで、**世界トップレベルの500W/kgの実現**が期待される(25kWクラス衛星において、75kgの軽量化に相当)。さらに、**小型衛星用PCUに本技術を適用しても、海外同品種に対して大きな競争力が見込める(図5)**。

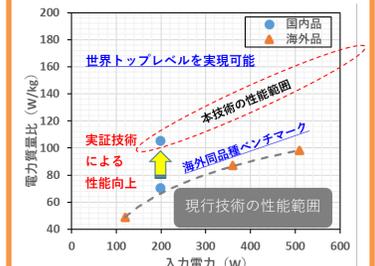


図5. 小型衛星PCUベンチマーク

今後は**小型衛星用PCUに展開し、実用化を目指す**。また、高速通信衛星への本技術の適用に向けて、衛星システムメーカーと意見交換を開始。

補足5：宇宙探査イノベーションハブ成果の実装

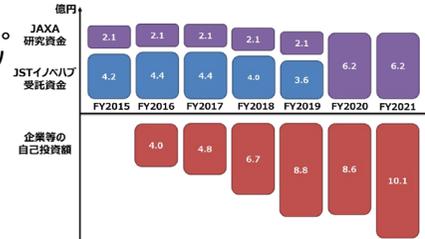
宇宙探査イノベーションハブの背景

日本発の宇宙探査におけるGame Changing 技術を開発し、宇宙探査の在り方を変えると同時に地上技術に革命を起こすことを目指し、宇宙探査と地上の社会実装に展開する“Dual Utilization”という新しいコンセプトを導入して幅広い異分野(非宇宙分野含む)連携・人材糾合の促進してきた。

得られたアウトプット：異分野連携と人材糾合の達成

幅広い異分野連携や人材糾合、企業からのリソース提供を引き出し、多数の研究開発成果を挙げ、さらにJAXA内他部門へ同様のスキームを波及させたことで、法人の機能強化にも寄与した。また、今後さらに異分野からの更なる興味関心と理解を得、参画の促進を図るべく「宇宙探査イノベーションハブビジョン」を制定したことに加え、ESG/SDGsに貢献する研究分野分析や周知営業活動分析を行い、連携拡大・促進の取り組みを推進した。

- FY2021に新たに**19件の共同研究を開始した**。このうち、**国際宇宙探査に直接的に関連する共同研究が2件**含まれる。
- FY2021に新たに**23の企業・研究機関等が参加し**(累計212機関)、うち約9割がこれまで**宇宙分野に関わりのなかったもの**、企業のうち約4割が**中小・ベンチャー企業**である。
- クロスアポイントメント等により、**異分野企業から5名が参加している**。



他機関との連携

・新たに着手した共同研究の相手企業等と連携するとともに異分野からの更なる参画の促進を図り、新たな企業・業界、地方自治体等と連携を目指す

期待されるアウトカム

・宇宙探査技術・ミッションの創出
 ・企業における新規事業の創出
 ・研究成果や活動によるESG/SDGsへの貢献

得られたアウトカム：成果の民間事業化・宇宙活用、他制度との連携

共同研究の成果が、事業としての実装、宇宙分野での活用の決定に繋がり、特に軌道上実証/ミッション採用実績は、FY2020まで2件だったところ、FY2021では軌道上実証開始が2件、ミッション用機器開発が8件(うち3件はFY2021中に引渡済み)となった。また、**新たに創設された他制度との連携も進み、宇宙探査研究の拡大が進展した。**

事業化：

- **可搬型高感度・高精度揮発性物質センサ**の成果を応用し、地上用途プロトタイプ(図2)を開発、提供開始。(ボールウェーブ)
- 建設機械の遠隔操作・自動運転を目指した遠隔施工実証実験を実施。(鹿島建設)

宇宙活用：

- **袋型培養槽技術**(図3)を用い、ISSでのレタス栽培実証実験を実施。簡易な植物栽培可能性を提示した。(竹中工務店、麒麟ほか)
- **全固体リチウムイオン電池**の宇宙適用可能性を検証するためのISS船外曝露部における実証実験を開始。(日立造船)
- 2022年度打上げ予定のSLIMに搭載されるLEVシステムには、**超小型高精度絶対角度センサ変調波レゾルバ(エクストコム)**及び**モータ軸受け(新明和工業)**がLEV1部品として、**変形型月面ロボット(タカラトミー、ソニーほか)**がLEV2として採用、開発完了した。

さらに、共同研究を実施した**遠隔施工技術(鹿島建設)**の研究テーマが国土交通省のスターダストプログラム「宇宙無人建設革新技術開発推進事業」に採択されたほか、ムーンショット型研究開発では月面拠点をゴールとしたAI研究に参加するなど、他制度と連携した宇宙探査研究の拡大が着実に進展している。



図2 超小型高性能ガスクロマトグラフ 図3 袋型培養槽

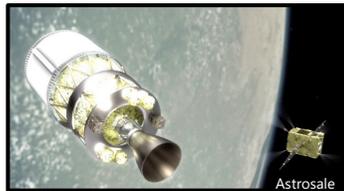
参考情報

[参考 1] 商業デブリ除去実証プロジェクトおよびスペース・デブリ対策

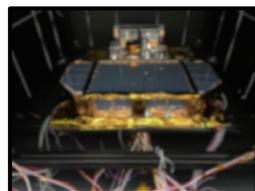
① 商業デブリ除去実証フェーズ I (プロジェクト)

スペース・デブリ対策分野の市場創出期待を背景として、『世界初の大型デブリ除去』により技術優位性を獲得するとともに、デブリ対策の国際議論を先導し、デブリ除去を新規宇宙事業として拓き民間事業者の自立とビジネス化に繋げることを目的として、「商業デブリ除去実証」を進めている。

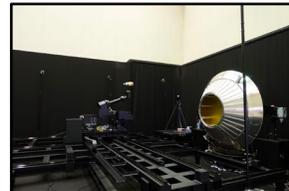
「商業デブリ除去実証」の二段階での実証のうち、第一段階であるフェーズ I (軌道上に長期間放置されたわが国由来のロケット上段デブリにランデブし映像取得し、世界的にも知見の少ない軌道上デブリの状況把握と共に非協力ランデブ技術を獲得するフェーズ)について、スペース・デブリ対策の事業化を目指す民間事業者等と連携し、プロジェクトを開始した。民間事業者に裁量を持たせた新たなマネジメント方式を適用している。FY2021は衛星システムの詳細設計を実施し、マイルストーン2を完了した。



民間事業者が検討するフェーズ I 実証イメージ



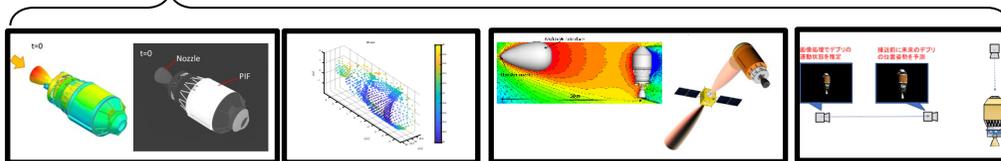
ランデブセンサ(EM)



ランデブセンサ機能性能試験

② 商業デブリ除去実証フェーズ I の事業者活動に対するJAXA技術支援

ランデブ技術を中心に運用・電気・機械・光学・耐環境・ターゲット情報等の幅広い分野について累計150件の技術アドバイスの提供、4件の研究成果の知財提供、10以上の試験設備の供与・試験ノウハウの提供を実施。



赤外カメラ模擬画像シミュレータ研究 (相対航法機能検証用)

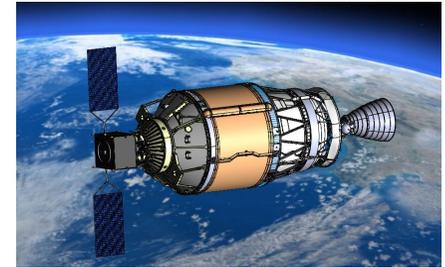
LiDAR 模擬画像シミュレータ研究 (相対航法機能検証用)

スラストプルームによるデブリ運動低減研究

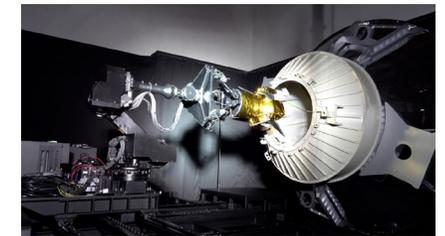
画像によるターゲット運動推定・予測技術研究

③ 商業デブリ除去実証フェーズ II に向けて

「商業デブリ除去実証」の二段階での実証のうち、第二段階であるフェーズ II (軌道上に遺棄されたわが国由来のロケット上段デブリに対し、接近し、近傍制御を行い、撮像、除去、安全なりエントリを行う)のプロジェクト立上げを目指し、「ミッション定義フェーズ」へ移行した。概念検討の公募を发出、2社を選定して概念検討を実施。また、キー技術について要素技術研究を実施した。



500kg級衛星による大型デブリ除去のイメージ

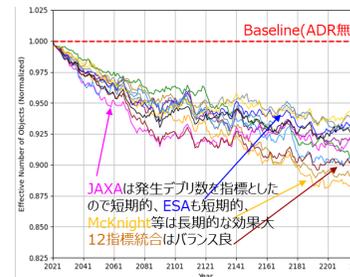


デブリ捕獲地上試験装置 (SATDyn) での捕獲試験

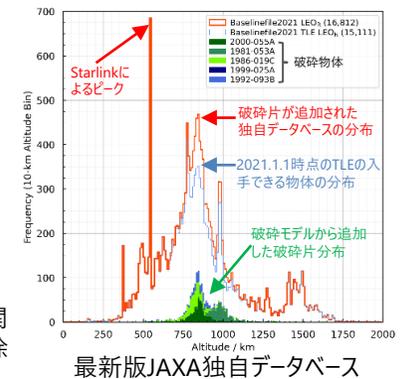
④ 宇宙環境モデル構築および宇宙デブリ対策の国際ルール化に向けた国際的な議論

宇宙環境モデル(軌道高度に対する密度分布)等のモデリングに関する研究開発を実施し、国内独自の物体データベースを整備することで、独自のモデルを構築している。

これらを用いて、政府や国内外関係機関と連携し、宇宙デブリ対策の国際ルール化やデブリ除去(ADR)の効果に関する議論などを積極的に推進している。



各国研究機関によるデブリ除去効果の比較



最新版JAXA独自データベース

[参考 2] 宇宙太陽光発電システム (SSPS) の研究開発状況

JAXAでは、SSPSの研究者/技術者が自ら手がけなければ進展しない技術（他分野では研究開発の動機のない技術）として、「マイクロ波無線電力伝送技術」、「レーザ無線電力伝送技術」および「大型宇宙構造物技術」を識別し、これらの研究開発を最優先で進めている。以下に、各研究の2021年度の主な成果を示す。

(1) **マイクロ波無線電力伝送技術の研究開発**

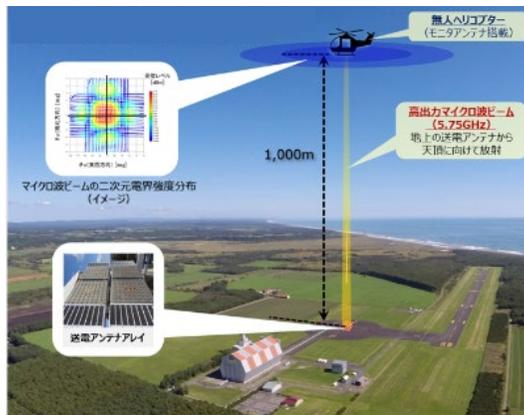
マイクロ波方式SSPSのターゲットである宇宙-地上間のみならず月探査・地上アプリケーション等を想定した場合、送電部・受電部間の相対距離が時間変動する。マイクロ波無線電力伝送技術の実現に向け、高効率・高精度なビーム指向・追従制御技術を有するSSPS最小構成モジュールの試作に着手した。また、経産省SSPS研究開発事業(長距離無線電力伝送実験)について、委託を受けた（一財）宇宙システム開発利用推進機構と連携協力しつつ、当該事業に係る高精度マイクロ波ビーム制御装置の設計試作を進めている。

(2) **レーザ無線電力伝送技術の研究開発**

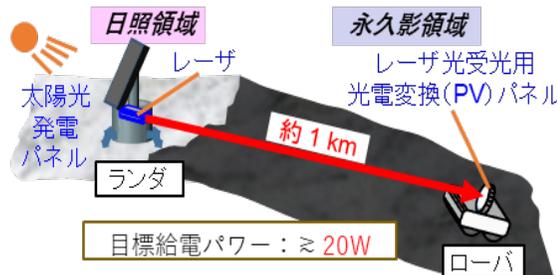
小型軽量化/スモールスタートがし易く、既設太陽光発電パネルでの受電も可能なレーザ方式SSPSの実現に向け、中間目標である月極域永久影領域内ローバへの給電（1km先、>20W）に関する研究を遂行中。本年度は、小型軽量で複数ビーム一括制御も可能なビームバンドル化手法を考案。原理的には、低パワーレーザのバンドル化でパワー拡張できるため、ローバ給電に必要な100W超送電系も早期実現が可能となる。また給電システム全体の高効率化設計に向けた光・電気連成シミュレーションにより、実験で得られた光電変換パネル（300mm角）の電気出力特性を定性的に再現。さらに温度分布導入等による高精度化を進めている。

(3) **大型宇宙構造物技術の研究開発**

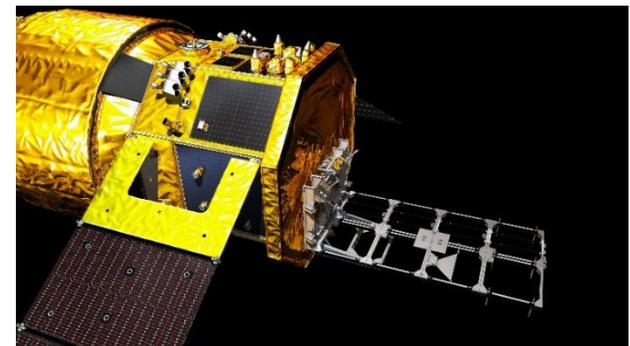
SSPSは数百m～数kmの大型宇宙構造物を必要とする。このような大型宇宙構造物を軌道上で自動的に構築する技術の確立に向けて、静止軌道降水レーダへの適用を見据えた30m級大型平面アンテナの実現を当面の目標とし、HTV-X1号機に搭載する展開型軽量平面アンテナ軌道上実証システム（DELIGHT）の開発を進めている。2021年度は、DELIGHTのエンジニアリングモデルの製作・試験を実施し、その結果を踏まえてDELIGHTの詳細設計を完了し、プロトフライトモデルの製作に移行した。



長距離マイクロ波無線電力伝送実験のイメージ



月極域永久影領域内探査ローバへのレーザ無線電力伝送のイメージ



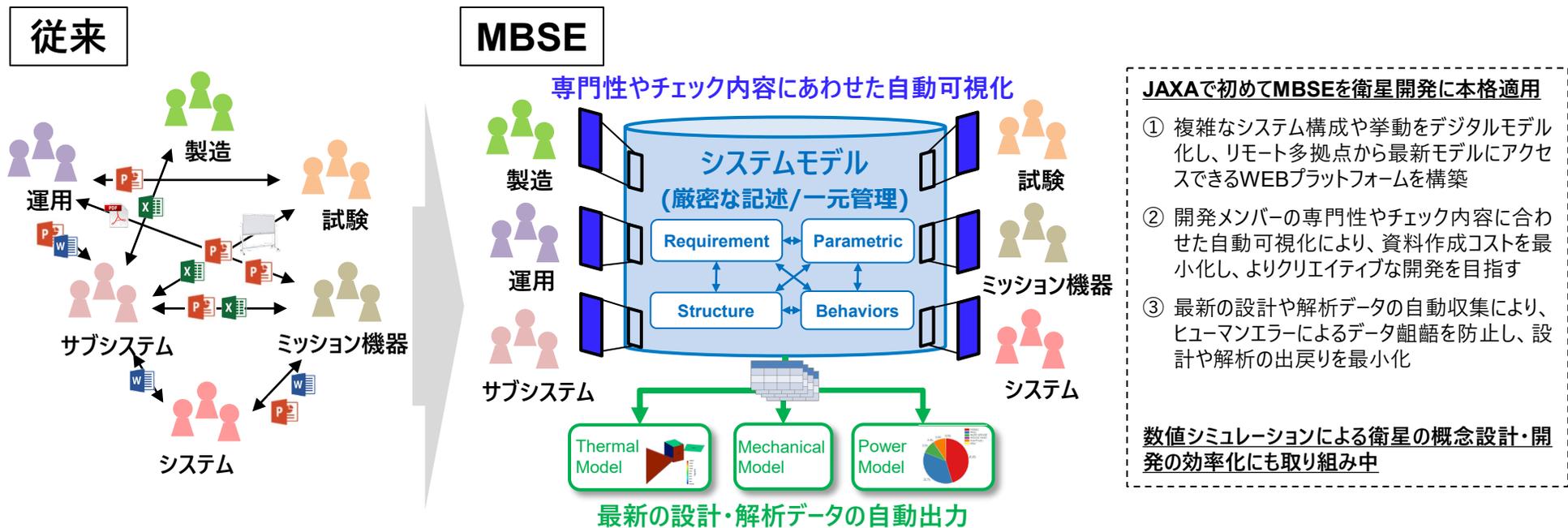
HTV-X1号機に搭載したDELIGHTのイメージ

参考情報

[参考3] 小型実証衛星の開発における開発プロセスのデジタル化に関する取組

開発の上流段階での要求に関する表現の曖昧さ、重要事項が暗黙知となっていること等に起因する要求や設計に関する認識齟齬により、不具合、設計の手戻り、及び追加試験が生じることで開発期間やコストが増加することが大きな課題である。また、複数の作業者の間で設計要求や前提条件のデータが一元管理されていないと認識やデータの齟齬が起こり、作業のやり直しによる追加コスト、不具合による手戻りが生じる。これらの課題を解決するため、デジタル技術をベースとした新しい開発プロセスの構築と実証に取り組んでいる。

- 小型実証衛星3号機(RAISE-3)は、革新的衛星技術実証3号機の「部品・コンポーネント・サブシステム」のカテゴリで選定された7つの実証テーマ機器を搭載し、各実証テーマが希望する軌道上実験を実施する衛星で、2022年度の打上げに向けて、JAXAで開発を進めている。
- RAISE-3の開発では、フレキシブルな衛星開発手法の実証を目的として、デジタル開発(モデルベース・システムズエンジニアリング：MBSE)を、JAXAで初めて本格導入している。
- これまでに、衛星技術実証プラットフォームとしてRAISE-3の開発仕様のベースになる、RAISE-2の上位要求等のシステムモデル化方法を構築してきており、これらの成果も利用して、RAISE-3では以下4つの効率化のアプローチを柱として、MBSE実施環境/手順の構築、MBSEを用いた審査会や一連のSEプロセスが実施できることを実証中である。
 - (A) データ一元管理/共有環境の構築：システムモデルで体系化したデータ管理・共有により、データ齟齬防止、再利用性の高い開発知見蓄積。
 - (B) 審査会の効率化：OpenMBEE(WEBシステム)を用いた審査文書の閲覧や指摘票対応により定型作業を減らし、レビューの質を向上。
 - (C) 開発管理の効率化・確実化：上位要求から設計仕様、検証計画や結果の一貫したトレーサビリティ確認による抜け漏れを防止。
 - (D) エンジニアリング手法の向上：複雑なシステム構成や振舞いの正確な把握による設計の効率化。
- 次号機でのMBSE全面適用を目指しており、MBSEの適用による有効性評価および実用化上の課題識別と解決検討、開発効率化に繋がるMBSE活用方法の検討も実施中である。



財務及び人員に関する情報

項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
予算額 (千円)	15,364,116	13,620,082	17,948,197	20,300,167			
決算額 (千円)	15,584,719	13,424,518	15,384,330	19,017,527			
経常費用 (千円)	—	—	—	—			
経常利益 (千円)	—	—	—	—			
行政コスト (千円) (※1)	—	—	—	—			
従事人員数 (人)	342	339	334	344			

(※1) 「独立行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」の改訂(平成30年9月改定)に伴い、2018年度は「行政サービス実施コスト」、2019年度以降は「行政コスト」の金額を記載。

主な参考指標情報

項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
知的財産権の出願・権利化	出願: 57件 (うち海外15件) 権利化: 22件 (うち海外9件)	出願: 68件 (うち海外32件) 権利化: 17件 (うち海外6件)	出願: 44件 (うち海外14件) 権利化: 20件 (うち海外4件)	出願: 50件 (うち海外24件) 権利化: 35件 (うち海外13件)			
査読付き論文数	39件	38件	55件	62件			
技術移転 (ライセンス供与) 件数*1 (全JAXA)	372件	335件	334件	358			
受託件数、金額 *2	16件 10,497千円	22件 45,379千円	25件 107,483千円	23件 67,667千円			
外部資金の獲得件数・金額 *2	55件 607,123千円	42件 909,306千円	51件 914,939千円	56件 891,010千円			
共同研究相手先の 自己投資額	670,032千円	875,028千円	863,093千円	1,007,793千円			
共同研究参加企業・大学数	累計124機関 (うち9割の企業 が非宇宙)	累計154機関 (うち9割の企業 等が非宇宙)	累計201機関 (うち9割の企業 等が非宇宙)	累計212機関 (うち9割の企業等 が非宇宙)			

*1 2019年度評価より、Ⅲ.4.1に掲載されていた「技術移転（ライセンス供与）件数」をⅢ.4.2に掲載。

*2 受託と外部資金については、以下の分類として件数・金額を計上している。

受託：外部の資金を利用して相手方の研究課題を解決する研究を行うもの

外部資金：外部の資金を利用してJAXAの研究課題を解決する研究を行うもの

2021年度 自己評価において抽出した抱負・課題	対応方針
<p>当初計画していたRV-Xの飛行試験、小型実証衛星3号機の詳細設計については、年度内に完了することができなかった。</p>	<p>RV-Xについては新型コロナの影響を注視しながら部材等の調達、試験準備を確実に進めるとともに、CALLISTOと連携し、RV-Xの成果を適切な時期にCALLISTOの取組に反映できるように計画面でのマネジメントを強化し、飛行試験を完了させる。</p> <p>小型実証衛星3号機の開発では、ロケットとのスケジュール調整を密に行いつつ、開発プロセスのデジタルイノベーションへの取組を着実に進めると共に、小型実証衛星2号機の開発や運用で得られた知見も取り入れて衛星の開発を行っており、今後、試験の効率化等も行い、詳細設計の完了、2022年度中の仕上げを目指す。</p>

Ⅲ. 5 航空科学技術

2021年度 自己評価

S

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>Ⅲ. 5. 航空科学技術については、我が国産業の振興、国際競争力強化に資するため、社会からの要請に応える研究開発、次世代を切り開く先進技術の研究開発及び航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発を行う。また、オープンイノベーションを推進する仕組み等も活用し、国内外の関係機関との連携や民間事業者への技術移転及び成果展開を推進するとともに、公正中立な立場から航空分野の技術の標準化、基準の高度化等に貢献する取組を行う。</p>	<p>Ⅰ. 5. -</p>	<p>-</p>	<p>-</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(1) 社会からの要請に応える研究開発</p> <p>環境適合性、経済性及び安全性の向上など国際競争力の強化につながる技術の実証及びその技術移転等の実現に向け、次世代エンジン技術、低騒音化等の機体技術、センサやアビオニクス等の装備品技術及び航空機利用の拡大に資する技術等の研究開発を民間事業者等との連携の下に進める。具体的には、我が国のエンジン低圧系部位の技術優位性を維持・向上させることに加え、新たに高圧系部位として、コアエンジン向け低NOx燃焼器及び高温高効率タービン等の技術実証を中心とした研究開発への取組を強化する。併せて、技術実証用エンジンとしてF7エンジンを整備し、これを活用して各種エンジン技術の成熟度を向上させる。</p> <p>また、飛行実証等を通じ、次世代旅客機の騒音低減技術や機体抵抗低減技術等の研究開発、航空機事故の防止や気象影響の低減並びにパイロットの支援等を行う新たな装備品及びその高機能化技術の研究開発、災害対応航空技術及び無人機技術等による航空利用拡大技術等の研究開発を関係機関と協力して進める。これらを通じ、我が国の民間事業者の取り組む国際共同開発における分担の拡大、完成機事業の発展及び装備品産業の育成・発展等に貢献する。</p>	<p>(1) 社会からの要請に応える研究開発</p> <p>次世代エンジン技術について、民間事業者との連携を通じて、高圧系部位のコアエンジン技術については、低NOx燃焼器ではシングルセクタ性能試験の評価結果に基づき、マルチセクタ燃焼器での性能試験に向け燃焼器の設計を行うとともに、高温高効率タービンでは回転タービン空力性能評価試験を終え、CMC静翼健全性実証のための評価装置を構築し、エンジン低圧系においては、整備を完了した技術実証用エンジンでの実証に向け、樹脂製吸音ライナの構造強度評価結果を分析し、搭載試験用供試体の製作を完了する。</p> <p>(令和4年度 吸音ライナのエンジン技術実証予定)</p>	<p><プロジェクト> 次世代エンジン技術に関しては、民間事業者との連携を通じて、高圧系部位のコアエンジン技術については、低NOx燃焼器ではシングルセクタ性能試験の評価結果に基づき、マルチセクタ燃焼器での性能試験に向け燃焼器の設計を行い、設計妥当性を確認した。</p> <p>高温高効率タービンでは回転タービン空力性能評価試験を実施し、性能確認に必要なデータを100%取得することができた。</p> <p>CMC静翼健全性実証のための評価として、バーナー熱サイクル試験ならびに高温ガス流健全性試験の装置を構築し、予備試験を実施した。</p> <p>エンジン低圧系においては、整備を完了した技術実証用エンジンでの実証に向け、樹脂製吸音ライナの構造強度評価結果を分析するため軽量吸音パネルの環境模擬試験（エンジン内部流れ環境、振動環境）を実施、供試体のF7エンジン搭載確認を完了した。</p>	<p>次世代エンジン技術については、計画に基づき着実に実施。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(1) 社会からの要請に応える研究開発</p> <p>環境適合性、経済性及び安全性の向上など国際競争力の強化につながる技術の実証及びその技術移転等の実現に向け、次世代エンジン技術、低騒音化等の機体技術、センサやアビオニクス等の装備品技術及び航空機利用の拡大に資する技術等の研究開発を民間事業者等との連携の下に進める。具体的には、我が国のエンジン低圧系部位の技術優位性を維持・向上させることに加え、新たに高圧系部位として、コアエンジン向け低NOx燃焼器及び高温高効率タービン等の技術実証を中心とした研究開発への取組を強化する。併せて、技術実証用エンジンとしてF7エンジンを整備し、これを活用して各種エンジン技術の成熟度を向上させる。</p> <p>また、飛行実証等を通じ、次世代旅客機の騒音低減技術や機体抵抗低減技術等の研究開発、航空機事故の防止や気象影響の低減並びにパイロットの支援等を行う新たな装備品及びその高機能化技術の研究開発、災害対応航空技術及び無人機技術等による航空利用拡大技術等の研究開発を関係機関と協力して進める。これらを通じ、我が国の民間事業者の取り組む国際共同開発における分担の拡大、完成機事業の発展及び装備品産業の育成・発展等に貢献する。</p>	<p>(1) 社会からの要請に応える研究開発</p> <p>次世代エンジン技術について、民間事業者との連携を通じて、高圧系部位のコアエンジン技術については、低NOx燃焼器ではシングルセクタ性能試験の評価結果に基づき、マルチセクタ燃焼器での性能試験に向け燃焼器の設計を行うとともに、高温高効率タービンでは回転タービン空力性能評価試験を終え、CMC静翼健全性実証のための評価装置を構築し、エンジン低圧系においては、整備を完了した技術実証用エンジンでの実証に向け、樹脂製吸音ライナの構造強度評価結果を分析し、搭載試験用供試体の製作を完了する。</p> <p>(令和4年度 吸音ライナのエンジン技術実証予定)</p>	<p>さらに、エンジンの超高バイパス比化による低燃費性を維持しつつ、エンジンナセル縮小に対応した高効率な吸音性能を実現する技術要求に対して、独自の吸音ライナ技術を考案した(特許出願)。CFD解析と要素試験による改良と小型エンジン試験により、実エンジン環境の高速気流条件においても高い吸音性能を維持できる高効率吸音ライナ技術を開発し、従来の基準吸音ライナよりも約40%騒音低減する吸音性能(-2dB)を技術実証した。</p>	<p>本高効率吸音ライナは、国内外の航空関連企業が関心を持っている。航空エンジンナセルへの適用をはじめ、幅広い分野へのスピノフが見込まれる。当該技術を産業界に移転することにより、騒音問題を抱える企業の国際競争力を高めることができる。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	<p>(続き)</p> <p>低騒音化等の機体技術については、関係機関との連携を通じて、旅客機低騒音化の技術実証に向け、低騒音化設計を行った結果に基づき飛行実証計画を立案する。また、機体抵抗低減技術について、自然層流翼設計技術の風洞試験実証計画の立案やリブレットの耐久性飛行実証に向けた施工法の開発からなる低抵抗技術の実機適用に向けた研究開発を行う。</p>	<p>低騒音化等の機体技術については、関係機関との連携を通じて、旅客機低騒音化の技術実証に向け、低騒音化設計を行った結果に基づき飛行実証計画を立案し、中型旅客機を用いた飛行実証に向けて、JAXA-ボーイングの共研を改訂、JAXA-国内メーカー3社との新規共研契約を締結することで、連携体制を構築した。また、行政、エアラインとの交流を深め、FQUROH-2への関心と期待を獲得することができた。</p> <p>ボーイングとの間で、ミッションや飛行実証フェーズにおけるスケジュール、資金規模、役割分担などについての協議を開始し、MDR受審に向けてプロジェクト文書案の作成を進めた。</p> <p>機体抵抗低減技術については、TWT2（遷音速風洞）において、実機の1/2高Re数の主翼形状において、自然層流翼設計の効果を確認した。</p> <p>また、機体抵抗を低減してCO₂や燃費を低減するリブレット技術については、JAXAでは数値流体解析や試験を通じてリブレットの現象理解を深め、独自の片刃形リブレット(特許出願)を考案、従来のリブレットより30%以上高い世界トップレベルの摩擦抵抗低減性能(8%)を実現した。</p>	<p>低騒音化等の機体技術については、飛行実験により本成果の航空機に対する低騒音化設計の有効性が検証される予定であり、今後の航空機設計の標準的な手法になり得る技術としてボーイングからも期待されている。</p> <p>機体抵抗低減技術については、層流垂直尾翼システムの研究により、国内航空産業の競争力強化と持続可能社会実現への貢献が期待される。</p> <p>機体抵抗を低減してCO₂や燃費を低減するリブレット技術について、JAXA独自のリブレット形状を設計し、表面摩擦低減率を従来の6%から8%に向上させることに成功した。これにより、全機抵抗の低減は2%から3%に向上し、全機ヘリブレットを施工した場合2%の抵抗低減ができる見通しを得た。なお、特許申請も完了させたことで、国内施工メーカーが有利に活用できるようになった。</p>

MDR: Mission Definition Review(ミッション定義審査)

FQUROH: Flight Demonstration of Quiet Technology to Reduce Noise from High-lift Configurations

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p>	<p>(続き) 気象影響防御技術については、関係機関と連携して、耐雷複合材料の要素研究を進めるとともに、滑走路雪氷検知技術について、埋設型雪氷モニタリングセンサのプロトタイプシステムを開発し、空港実証により雪氷検知性能を評価する。さらに、被雷危険性予測技術について、民間事業者と連携して予測ソフトウェアを開発し、旅客機運航データにより被雷危険性の予測性能を評価する。</p>	<p>気象影響防御技術については、北海道エアポートと連携協定を新たに締結、福井県との連携協定やWEコンソーシアム活動により関係機関と連携、耐雷複合材料の実用化を検討している国内企業と共同研究を締結、パーツレベルの耐雷複合材料としてサンドイッチパネルを製作し、成形性・耐雷性を評価し、耐雷複合材料の要素研究を進めるとともに、安全性を確保しつつ高い運航効率の実現に貢献する滑走路雪氷検知技術について、埋設型雪氷モニタリングセンサのプロトタイプシステムA-GLASS EMを開発し、福井空港と新千歳空港に埋設、ICAO新基準の全雪氷種類に対応する機能・積雪予測の空港実証を行った。さらに、被雷危険性予測技術については、夏季の関東および冬季の小松周辺における検証事例を増やすことにより予測性能を評価した結果、高いロバスト性を確認、アルゴリズムを改良し、より精度の高い予測が可能となるEMを開発した。</p>	<p>被雷危険性予測技術について、気象サービスプロバイダ1社は、大手エアラインでの試験運用を開始した。安全性を確保しつつ高い運航効率の実現に貢献する滑走路雪氷検知技術について、ICAO新基準に対応可能となる雪氷モニタリングセンサのプロトタイプシステムを開発、福井空港と新千歳空港に埋設し、空港実証を実施した。また、これらの成果が航空機運航・空港管理に適用されるようになれば、突発的な事故や遅延・欠航を低減でき、安全性を確保しつつ高い経済効率を実現する運航に貢献できる。</p>

WE: WEATHER-Eye : Weather Endurance Aircraft Technology to Hold, Evade and Recover by Eye

ICAO : International Civil Aviation Organization

A-GLASS : Airport Ground LAsEr Sensor for Snow monitoring : 埋設型雪氷モニタリングシステム

EM : Engineering Model

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p>	<p>(続き) 装備品技術については、パイロット等の運航判断を支援する技術等の研究を引き続き進め、状況認識支援技術の飛行実証を行う。また、GPS複合航法技術を組み込んだ装備品の認証技術について民間事業者への技術移転を完了させ、装備品の認証取得を支援する取り組みを民間主体の活動に移行する。</p>	<p>装備品技術については、パイロット等の運航判断を支援する技術等の研究を引き続き進め、(スマートフライト技術研究として)CFDT導入効果のためのシミュレーション開発を実施、首都圏空域再編後においても適応型時間管理アルゴリズムが有効であることを実証。航空局のメタリング導入に向けた活動を支援した。耐障害航法技術については、ニセGPS信号下において提案技術を利用することで正しい測位を行えることを実証。イノベーションチャレンジ連携先の技術と補完し合うことで不利な条件下にも対応することを確認した。状況認識支援技術の飛行実証として、開発したマルチカメラシステムの飛行試験を行い、従来のターレットシステムに比べて良好な評価を得た。更にスマート暗視センサ搭載のための調整をほぼ完了した。 また、GPS複合航法技術を組み込んだ装備品の認証技術について民間事業者への技術移転のため、ソフトウェア(JAXAアルゴリズム含む)・ハードウェアが完成し、実装用アルゴリズムについては、ソフトウェア試験で機能確認を完了、航空局によるSOI#3(検証フェーズ審査)を実施。航空機装備品認証技術コンソーシアムを通じて、装備品の認証取得を支援する取り組みを民間主体の活動に移行する準備を整えた。</p> <p>CFDT : Calculated Fix Departure Time</p>	<p>CFDT導入効果評価のためのシミュレーション開発により、航空局CARATSの重点的施策への成果に貢献した。 耐障害航法技術で開発した技術をベースに、空港等での実用化に向けた技術移転を目指し、メーカー1社と共同研究を開始することになった。 ヘリコプタの夜間飛行の安全性を向上する状況認識支援システムは、海外製の軍用システムしか実用化例がなく、飛行実証成果に基づき状況認識支援システムが国産化されれば、防衛用途のみならず災害対応等における夜間飛行の安全性向上に寄与することが期待される。 GPS複合航法技術のソフトウェアの一部である再利用コンポーネントRSCに対し、独立した仕様承認が得られる予定。独立したソフトウェア単体の承認は国内初となる。 装備品認証取得に向けた重要な知見を、国内の装備品メーカーに提供できる見込み。</p> <p>CARATS : Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems</p> <p>RSC : 再利用可能コンポーネント</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	<p>(続き) 航空機利用の拡大に向けて、災害・危機管理対応統合運用システムについて、機体・地上間で共有する情報に新型コロナウイルス対応情報等も含むよう拡張し、初期的な運用評価等の取組を行う。</p>	<p>災害・危機管理対応統合運用システムについて、今年度は、災害・危機管理対応統合運用システム(D-NET)の機能向上として、衛星通信を用いた小型・軽量持込型機上システムの開発・適用や航空管制レーダの質問応答信号を用いた機体位置算出システムの統合により、全国40カ所の競技会場周辺を空域統制所から一元的に監視するシステム・体制を構築し、不審機の早期発見を可能にした。さらに、飛行計画の電子化・共有化、各時刻における飛行状況の可視化等を可能にする運航計画の調整機能を開発（特許出願）し、従来法より所要時間を65%削減した。これにより、500機を超える官庁機・民間機の空域一元監視と運航計画の調整が実現した。</p>	<p>左記の実績により、東京オリンピック・パラリンピック大会の安全・円滑な運営に貢献した。 また、上記実績により、D-NETが日本の低高度空域管理におけるデファクトスタンダードへと成長し、従来機・空飛ぶクルマ・無人機など多種多様な機体運航を実現する将来の運航管理プラットフォームの基礎を確立した。また、自衛隊のトンガ沖大規模噴火・津波対応に際し、D-NETプログラムを改修し（陸上自衛隊システムへの対応、南半球での動作対応等）、現地で低高度運用される陸上自衛隊ヘリの活動状況を国内でも情報共有できる初のD-NET国外運用環境を迅速に提供し、国際緊急援助活動に貢献した。</p>

D-NET : Disaster relief aircraft management system-Network

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(2) 次世代を切り開く先進技術の研究開発</p> <p>低ソニックブーム設計技術等を核とする静粛超音速機統合設計技術や、航空機起源のCO2排出量を抜本的に削減するための革新的技術等の獲得に取り組む。具体的には、低ソニックブーム/低抵抗/低騒音/軽量化に対する技術目標を同時に満たす機体統合設計技術について、国際協力の枠組みを構築しつつ国内の民間事業者の参画を図ることで、技術実証を視野に入れた研究開発を行う。また、我が国の優位技術の糾合を通じた電動航空機技術等の革新的技術の研究開発を行う。これらを通じ、我が国の航空科学技術の国際優位性の向上や国際基準策定に貢献すること等により、社会の飛躍的な変革に向けた技術革新を目指す。</p>	<p>(2) 次世代を切り開く先進技術の研究開発</p> <p>静粛超音速機統合設計技術について、昨年度までに構築した国際協力の枠組みや国内の民間事業者との協力体制を活用して、実用的な低ソニックブーム設計技術を核とする機体統合設計技術の実証計画を立案する。加えて、NASA等関係機関と連携しつつ国際基準策定に貢献する。</p>	<p>静粛超音速機統合設計技術について、昨年度までに構築した国際協力の枠組みや国内の民間事業者との協力体制を活用して、実用的な低ソニックブーム設計技術を核とする機体統合設計技術の実証計画を立案するため、国内航空機製造メーカーとも協力して空中発進式の無推力超音速実証機システムの成立性検討を行った。</p> <p>加えて、NASA等関係機関と連携しつつ行う国際基準策定への貢献の一環として、将来コンセプト機の検討を進めることについて、日本メーカーを含めた関係機関と合意した。また、騒音認証試験手順、計測機器仕様、騒音評価手法等に関して、数値解析や不確かさ解析等を実施して技術検討結果をICAOの関連会合に提示し、ソニックブーム及び離着陸騒音に関する基準策定に向けた議論を推進した。</p> <p>昨年度は、ビジネスジェット機にJAXA静粛超音速機統合設計技術が有効であることを確認したが、今年度は、よりスケールの大きい旅客機サイズの機体に適用できるように、機体揚力を最適に分布させられるように設計技術を改良し、実機の排気条件も考慮した巡航条件において、全オフトラック位置で将来許容されると考えられる騒音レベルである85PLdB以下を達成した。</p>	<p>将来、低ブーム超音速機のOEMとなる可能性が高い米国主要航空機メーカーに対して、JAXA技術によりソニックブームの将来許容されると考えられるレベルを満足することを示すことができれば、我が国産業界の超音速機国際共同開発の参画につながる。また、陸上超音速飛行が可能になった場合の旅客輸送の市場規模は年間9600億円と予測しており、大きな経済効果が期待される。</p>

OEM: Original Equipment Manufacturer

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
(続き)	<p>(続き) 航空機電動化技術等の革新的技術については、他分野を含む関係機関との連携を通じて、国内優位技術を活用した燃料電池等の要素研究を引き続き実施するとともに、電動航空機用ハイブリッド推進システムについて技術実証システムの概念検討を完了する。</p>	<p>航空機電動化技術等の革新的技術については、中部大学（共同研究）、日本大学（共同研究）といった他分野を含む関係機関との連携を通じて、国内優位技術を活用した燃料電池等の要素研究を実施し、軽量のSOFC電解質材料技術の獲得として、従来材料より約33%の軽量化が見込めるSOFC電解質材料CTS7を提案中（世界で唯一）。また、電動航空機用ハイブリッド推進システムについては、技術実証システムの概念検討が計画通りに完了した。具体的には、電動ハイブリッド旅客機の課題を解決し価値を飛躍的に向上するコンセプトとして独自のBLI形態を考案し、忠実な解析によって世界最高レベルの燃費性能を提示することができた。また、電動要素故障時におけるエンジン・機体システムへの悪影響を回避する独自技術について、BBM試験を通じて概念検証することにより、電動ハイブリッド推進システム特有の課題を解決できる手法を提案できた。以上の成果は、特許3件として出願が完了した。</p>	<p>電動航空機用ハイブリッド推進システムについては、①信頼性確保技術による、航空産業以外の国内企業参入促進②ファン搭載設計技術の連携企業への移転による国内メーカーの競争力向上③JAXA信頼性要求値の国際的な基準策定反映による国内メーカーの競争力向上など、世界に先駆ける電動航空機技術が日本の産業競争力の強化に貢献できる。</p>

BLI : Boundary Layer Ingestion : 境界層吸い込み技術

BBM試験 : Bread Board Model試験 : 原理実証試験

SOFC : Solid Oxide Fuel Cell : 固体酸化物形燃料電池

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(3) 航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発</p> <p>数値流体力学 (CFD) 等の数値シミュレーション技術を飛躍的に高めるとともに、試験・計測技術、材料評価技術等の基盤技術の維持・強化に取り組む。具体的には、非定常 CFD 解析技術をベースに試験計測を含めた多くの分野を連携させた統合シミュレーション技術等の研究開発を行う。また、風洞試験設備や実験用航空機等、航空技術研究開発における基盤的な施設・設備の整備及び試験技術開発について、老朽化等も踏まえ、我が国の航空活動に支障を来さないよう JAXA 内外の利用需要に適切に応える。これらを通じ、航空機開発の迅速化、効率化等を実現する航空機設計技術の確立を目指し、我が国の航空産業の持続的な発展に貢献する。</p>	<p>(3) 航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発</p> <p>非定常CFD解析技術をベースに試験計測を含めた多くの分野を連携させた統合シミュレーション技術について、機内騒音に関して試験・計測データによって検証された数値シミュレーションコードを開発し、これまで開発した個別分野のコード群を民間事業者等に技術移転しつつ、実機設計に資する統合シミュレーションコード開発に向け実機データによる検証等の準備を始める。(令和6年度 統合シミュレーションコード開発完了目標)</p> <p>CFD: Computational Fluid Dynamics Model-Based Systems Engineering (MBSE) Model-Based Design(MBD)</p> <p>DX: Digital Transformation</p> <p>FASTAR-GSA: FAST Aerodynamic Routines - Global Stability Analysis</p>	<p>非定常CFD解析技術をベースに試験計測を含めた多くの分野を連携させた統合シミュレーション技術について、機内騒音に関して試験・計測データによって検証された6kHzまで評価可能な機内騒音予測ツールを開発。±2dBの精度を達成。また、機外騒音伝播予測についても、階層型格子のI/F機能拡張により、実機スケール・三次元形状を対象に、単極子散乱伝播解析にて、試験結果と一致する精度を達成した。すでに産業界で利用され始めている、大規模時系列データのモード解析ツールFBasisへの提供予定機能となる、ノイズを大きく含むデータに対するデータ解析技術の開発を行い、非定常感圧塗料計測データに適用し、パフエットセルパターンを明瞭に抽出することに成功した。また、実機設計に資する統合シミュレーションコード開発に向け実機データによる検証等の準備として、国産機の開発で蓄積されたデータを活用し、MBSE-MBD連携させた設計DXを検討した。MBSE-MBD連携による次世代システム設計技術を実現するためには、MBDで使用するシミュレーションの軽量迅速化が必要であるため、課題として重要かつ問題発生時に手戻りが大きい複雑な現象であるパフエットの予測技術に取り組み、FaSTARをベースに全体安定性解析コード(FaSTAR-GSA)を開発し、複雑形状への対応を可能にした。</p>	<p>非定常CFD解析技術をベースに試験計測を含めた多くの分野を連携させた統合シミュレーション技術については、計画に基づき着実に実施。</p> <p>大規模時系列データのモード解析ツールFBasisを開発しており、既にベンダーを介して産業界で利用され始めている(今年度、複数件の販売実績有)。また、新たに民間企業1社ともライセンス契約予定で知財課で契約手続き中。本研究で開発したモード解析法はFBasisの機能として提供予定である。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p>	<p>(続き)</p> <p>また、萌芽的研究から実用を促進する研究まで、幅広い範囲の基盤研究を計画・推進する。</p>	<p>もう一つの重要な課題として、航空機性能を左右する航空機の翼胴結合部における剥離解析の課題に対し、航空分野で標準的なボーイングモデルの問題点を確認し、これを克服する修正パラメータを導入した独自のJAXAモデルを開発し、ボーイングモデルで推定できなかった剥離長さを、JAXAモデルでは実験データを推定できることを確認することで、JAXAの優位性を確認した。</p> <p>また、航空機開発でリスクとコストの伴う飛行認証試験を数値解析で代替するCbA（Certification by Analysis）の課題に対し、JAXAのCFD：FaSTARベースのシミュレータによる検証を行い、飛行姿勢試験の解析誤差が飛行試験誤差と同等であることを確認した。</p> <p>また、萌芽的研究から実用を促進する研究まで、幅広い範囲の基盤研究を計画・推進するため、競争的萌芽研究や新分野開拓研究の実施、基盤技術探索研究の新設・実施を行った。実施例として、「健康と福祉のための航空技術の開拓」（新分野開拓）や、「電気化学的コンデンサーを用いた接着剤硬化反応の検出」（基盤技術探索）等、幅広い範囲の研究を行った。</p>	<p>左記の成果に関し、航空機メーカーとJAXA解析コード等を用いた実用研究計画を策定中であり、複雑現象に対応した航空機メーカーにおける空力形状の設計開発の高効率化が期待される。</p> <p>萌芽的研究から実用を促進する研究は、計画に基づき着実に実施。</p>

中長期計画	年度計画	実績	アウトカム
<p>(続き)</p>	<p>(続き) さらに、利用者ニーズに応える試験設備の整備・改修を進め、利用需要に応えた設備供用及び試験技術開発を実施する。</p>	<p>試験設備の整備・改修について、内外の航空分野の関係者が協働する「サイバープラットフォーム」に関し、部門の共通的な情報インフラ設備として構築するための多分野統合プラットフォーム（ISSAC PLATZ）の整備・改修を進めた。また、防衛装備庁受託「極超音速風洞高高度化調整役務」と防衛装備庁関連の外部供用試験等の実施や、雷撃試験装置の導入等、利用需要に応えた設備供用及び試験技術開発を実施した。</p>	<p>試験設備の整備・改修を進め、利用需要に応えた設備供用及び試験技術開発は、計画に基づき着実に実施。</p>

主な評価軸（評価の視点）、指標等

【航空産業の振興・国際競争力強化】

○我が国の航空産業の振興、国際競争力の強化に貢献するための立案・検討・マネジメントは適切に進められたか。それに伴う成果が生まれているか。

< 評価指標 >

(成果指標)

○航空産業の振興・国際競争力強化に係る取組の成果

(マネジメント等指標)

○研究開発等の実施に係る事前検討の状況

○研究開発等の実施に係るマネジメントの状況

(例：研究開発の進捗管理の実施状況、施設・設備の整備・維持・運用の状況、コスト・予算の管理状況等)

○大学・民間事業者等の外部との連携・協力の状況

< モニタリング指標 >

(成果指標)

○国際的ベンチマークに照らした研究開発等の成果

○研究開発成果の社会還元・展開状況

(例：知的財産権の出願・権利化・ライセンス供与件数、施設・設備の供用件数等)

(マネジメント等指標)

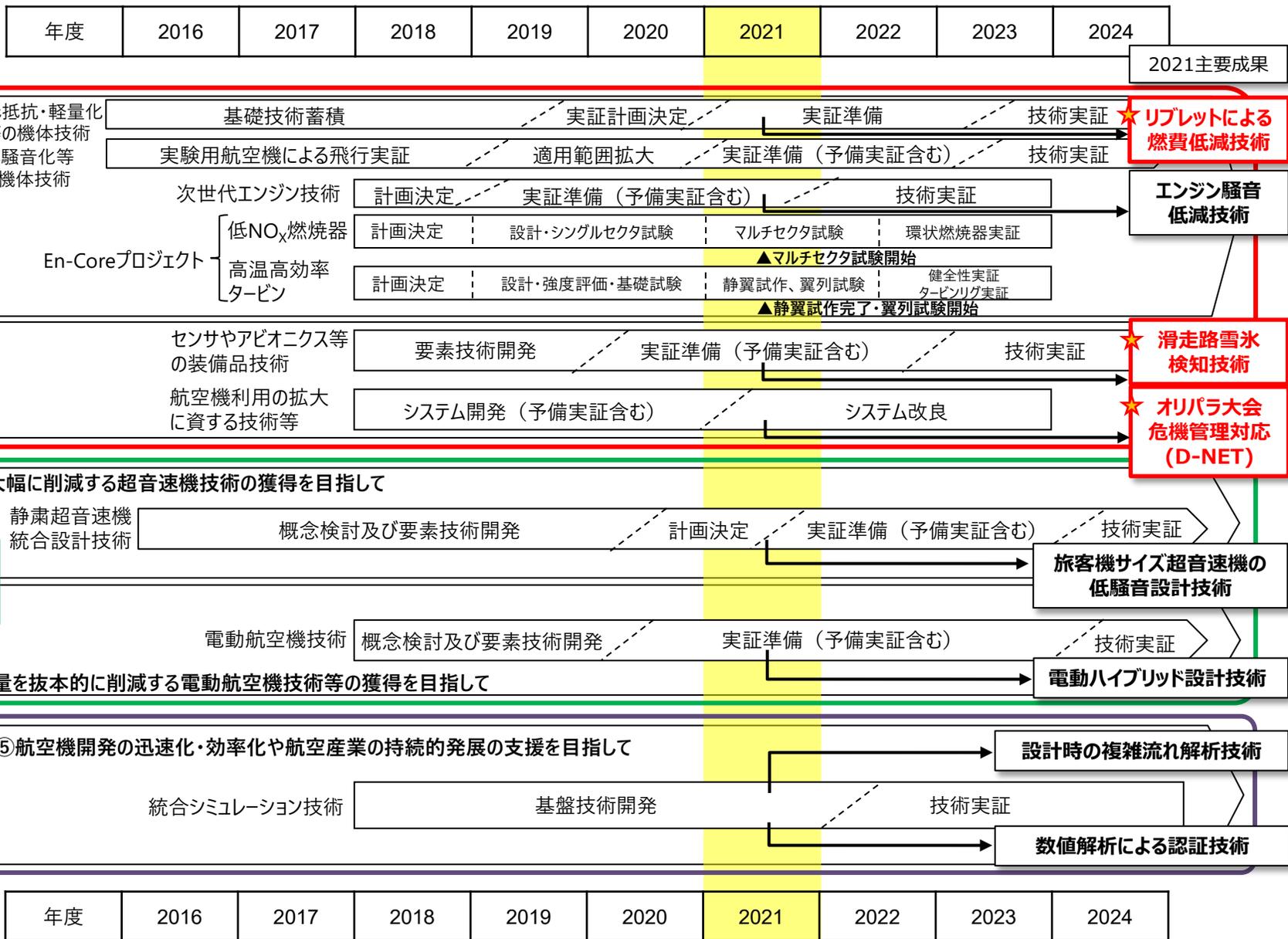
○大学・民間事業者等の外部との連携・協力の状況

(例：協定・共同研究件数等)

○外部資金等の獲得・活用の状況 (例：受託件数等)

スケジュール

主要課題のスケジュール



(1)社会からの要請に答える研究開発

(2)次世代を切り開く先進技術の研究開発

(3)航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発

【評定理由・根拠】

航空技術部門では、(1) 社会からの要請に応える研究開発として、空の①環境と②安全・安心/利用拡大、(2) 次世代を切り開く先進技術の研究開発として、③超音速機技術と④電動航空機技術、(3) 航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発として、⑤航空機開発の迅速化・効率化に取り組んでいる。

これに対する今年度の成果として、(1) ①分野において、航空機の摩擦抵抗を低減する世界トップレベルの技術を開発し、全機で2%の燃費を低減する技術を獲得した。また、エンジンの低燃費化設計に伴う騒音増大を解決する独自の吸音ライナ技術を開発し、従来より約40%高い吸音性能を実現した。(1) ②分野において、航空機のオーバーラン事故を防止するために世界唯一の滑走路雪氷モニタリングシステムを開発し空港実証を開始した。また、警備・警戒などの危機管理に対応するため、500機を超える官庁機・民間機の一元監視と運航計画調整機能を開発し、東京オリパラ大会の安全・円滑な運営に貢献した。(2) ③分野において、JAXAの低ソニックブーム設計技術を米国主要航空機メーカの旅客機級コンセプト機に適用し、騒音を将来許容されるレベル以下にする設計を実現した。(2) ④分野において、電動ハイブリット推進機体を実現する電動ファン搭載位置の空力最適化や、発電機の信頼性を向上させる故障抑制運転システムの開発に取り組み、実用化の大きな課題を解決した。(3) ⑤分野において、これまで他機関では出来なかった複雑かつ大規模な航空機の流れや運動の現象を解析できる手法を開発し、高コストな実験の削減や設計時に予測できなかった不具合の発生を抑制するデジタル開発環境を構築した。

これらにおいて、世界初の技術実証、世界最高水準の性能の達成や実用化への道筋の明確化という成果を得たことから、「研究開発成果の最大化」に向けて特に顕著な成果を創出したと評価する。特に顕著な成果の詳細は以下に記載する通り。

(1) 社会からの要請に応える研究開発

＜①環境に負荷を与える排出物の削減や騒音の低減など、経済性を考慮しつつ持続可能な社会の実現を目指して：中長期目標と今年度成果＞

機体の形状や構造を工夫して世界トップや世界初の抵抗低減/軽量化等の低環境負荷要素技術を開発し、飛行試験や大規模地上試験により有効性を実証する。エンジン技術については、高い燃費性能を維持しつつ、世界トップの低NO_x*1を実現する実機適用可能な要素技術を獲得する。これらの機体やエンジン技術の集積により、CO₂削減を目指す。また、世界トップの騒音低減デバイスや騒音予測ツールを開発し、実機や実エンジンをを用いた試験により有効性を実証する。これら抵抗低減、軽量化、低排出エンジン技術、騒音低減・予測技術等をメーカやエアライン等に技術移転して、CO₂の削減や空港周辺や客室内における騒音被害の低減など環境負荷を下げる技術を社会実装し、日本の産業競争力を向上させつつ、持続可能な社会の実現に寄与する。

今年度の成果としては、**機体抵抗の5割を占める摩擦抵抗を低減するリブレット技術**に取り組んだ。リブレットは、機体表面に微細な溝を設けることにより摩擦抵抗を低減させるものであるが、JAXAでは数値流体解析や試験を通じてリブレットの現象理解を深め、**独自の片刃形リブレット(特許出願)を考案**、従来のリブレットより30%以上高い**世界トップレベルの摩擦抵抗低減性能を実現**し、**全機で2%の燃費低減技術を獲得**した。本成果を世界の全旅客機に適用すると**年間約1600万トンのCO₂削減と年間4800億円の燃料費削減が期待**できる。＜補足1参照＞

エンジン低燃費化設計に伴う騒音増大を解決する**吸音ライナ技術**に取り組んだ。エンジンナセル内部に設置される吸音ライナは、高速気流中で吸音性能が低下する問題がある。JAXAでは吸音ライナ表面に0.2mm程度の微細孔を多数有する薄膜と特殊な空隙層を付加する**独自の吸音ライナ技術を考案**(特許出願)。その結果、小型エンジン試験によって従来の基準吸音ライナよりも**約40%騒音低減する吸音性能(-2dB)**を技術実証した。本成果による**高効率吸音ライナ**は、航空エンジンナセルへの適用をはじめ、**幅広い分野へのスピノフ**が見込まれる。当該技術を産業界に移転することにより、**騒音問題を抱える企業の国際競争力を高める**ことができる。＜補足2参照＞

*1 NO_x...窒素酸化物

【評定理由・根拠】（続き）

<②空に関わる安全・安心な社会の創出を目指して：中長期目標と今年度成果>

航空機の安全な運航を阻害する乱気流や特殊気象（雪氷、雷、火山灰等）、航空交通量増大（空域・空港の混雑）などの課題に対して、航空機運航における安全性とともに運航効率等を向上する技術を開発し、飛行試験等によって有効性を実証する。また、災害対応・危機管理能力の強化のため、ヘリコプタや無人機の性能向上及びこれらの統合的な運用を可能にする技術/システムを開発し、民間企業への技術移転を通じて実用化する。これらの成果の社会実装によって航空機運航の安全性を向上させるとともに、装備品産業等の育成にも貢献する。また、航空利用拡大による安全・安心な社会の実現に貢献する。

今年度の成果としては、**航空機のオーバーラン事故を防止する技術**に取り組んだ。オーバーラン事故の防止には、滑走路の雪氷状態をリアルタイムでモニタできるシステムが必要である。今年度は近赤外高分解能力カメラの導入による高分解能の光散乱データと、AIアルゴリズム高度化により、**国際民間航空機関新基準の全雪氷状態を高精度かつリアルタイムで同定する世界唯一の技術を獲得**した。上記のリアルタイム同定技術を用いた埋設型雪氷モニタリングシステムを開発、**実証試験を福井空港・新千歳空港で開始**し、実環境下での雪氷状態のリアルタイム検知と予測が可能との成果を得た。本成果により、**オーバーラン事故による遅延・欠航の低減が可能**となる。<補足3参照>

従来の**防災・減災に加えて警備・警戒も含めたより広い危機管理に対応する技術**に取り組んだ。国家的イベント（2021年東京オリパラ）においては、**空域の監視や運航計画を調整するシステム**が必要である。今年度は、災害・危機管理対応統合運用システム(D-NET)の機能向上として、衛星通信を用いた小型・軽量持込型機上システムの開発・適用や航空管制レーダの質問応答信号を用いた機体位置算出システムの統合により、全国40カ所の競技会場周辺を空域統制所から一元的に監視するシステム・体制を構築し、**不審機の早期発見**を可能にした。さらに、飛行計画の電子化・共有化、各時刻における飛行状況の可視化等を可能にする**運航計画の調整機能**を開発（特許出願）し、**従来法より調整時間を65%削減**した。これにより、**500機を超える官庁機・民間機の空域一元監視と運航計画の調整が実現し、東京オリパラ大会の安全・円滑な運営に貢献**した。<補足4参照>

（2）次世代を切り開く先進技術の研究開発

<③遠隔地との移動時間を大幅に削減する超音速機技術の獲得を目指して：中長期目標と今年度成果>

低ソニックブーム／低抵抗／低騒音／軽量化に対する技術目標を同時に満たす世界トップの機体統合設計技術を開発しつつ、飛行実証計画を立案する。得られた成果の提供により、2030年代に予想される陸地上空を超音速飛行する超音速機の市場を拓く国際基準策定を推進し、超音速機の国際共同開発でのシェア獲得に貢献する。

今年度の成果としては、**JAXA独自の低ソニックブーム設計技術を米国主要航空機メーカーによる旅客機サイズの低ブームコンセプト機に適用し、陸上超音速飛行が許容される低騒音化実現に目途**を得た。陸上超音速飛行が可能になった場合の**旅客輸送の市場規模は年間9600億円と予測**しており、大きな経済効果が期待される。<補足5参照>

<④航空機起源のCO₂排出量を抜本的に削減する電動航空機技術等の獲得を目指して：中長期目標と今年度成果>

我が国の優位技術を糾合して、世界に未だ無い旅客機に適用できる世界トップの電動航空機技術を獲得し、大規模地上実証に向けた計画を立案する。これにより、世界で始まった技術開発競争を勝ち抜き、将来の電動航空機の国際共同開発における優位な立場を獲得し、脱炭素社会の実現に貢献する。

今年度の成果としては、エンジンと電動ファンを連携させるハイブリッド推進システムの実用化に向け、燃費削減と実機成立性を同時に実現（特許出願）する**電動ファンの最適配置設計**を見出し、エンジンに搭載した発電機に不具合が発生した際にエンジン本体の過回転による**推進システムの故障を防止する技術**を考案して原理実証試験により有効性を確認（2件の特許出願）した。これらにより、**実用化に向けたシステム配置の問題を解決**した。<補足6参照>

【評定理由・根拠】（続き）

（3）航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発

<⑤我が国の航空機開発の迅速化・効率化や航空産業の持続的発展の支援を目指して：中長期目標と今年度成果>

次世代細胴機、空飛ぶクルマや無人機等の開発・運用や、国内完成機事業の再開を対象として、世界トップの多分野統合数値シミュレーション技術の獲得、世界トップ・世界初の先進的な試験・計測技術の開発、将来需要を見据えた基盤的な施設・設備の整備を推進する。これらの活動により、空の移動に関わるJAXA内外の利用需要に応え、世界トップや世界初の基盤的技術や設備を維持・強化し、メーカーの開発環境を支援して産業や学術分野における国際競争力の向上に寄与する。

今年度の成果としては、航空機の空力性能に大きく影響する翼胴結合部の流れの剥離現象を正確に計算できる乱流モデルや、航空機の安全性を損なうバフエット（衝撃波振動）を3次元複雑形状に対して予測できる**安定性解析コードを世界に先駆けて開発**。航空機開発における数値シミュレーションの活用範囲を拡大し、**近年増大する開発コストや開発期間の短縮を可能とした**。これらのシミュレーション技術は航空以外の分野における利用も期待されている。<補足7参照>
 また、航空機開発のDXにより認証プロセスを革新する研究開発として、JAXAのコア技術であり**世界トップレベルの解析速度をもつ流体解析ツールFaSTARの結果を飛行シミュレータに組み込み**、シミュレーションによる飛行姿勢や安定性等を飛行試験データと比較検証、**認証のための飛行試験の一部をシミュレーションで代替できる可能性を示した**。<補足8参照>

なお、年度計画で設定した業務は、計画通り実施した。

補足1 ①環境に負荷を与える排出物の削減など、経済性を考慮しつつ持続可能な社会の実現を目指して



背景・課題：機体抵抗を低減するリブレット技術の必要性と課題

旅客機の燃費を良くするためには、機体抵抗成分で最も多い割合を占める（約50%）表面摩擦抵抗を低減させることが効率的であり、すでに運用されている既存の機体にも適用できる利点を持つリブレット実用化技術に注目した。リブレットは機体表面に微細な溝を施工することで表面摩擦抵抗を低減する技術であるが、実際の旅客機の運用に必要な、①従来リブレット性能を上回る空力性能、②施工性、③耐久性を併せ持つリブレット技術が必要であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

アウトプット：世界トップの摩擦抵抗低減技術を獲得

①従来リブレット性能を上回る空力性能

リブレット溝断面は、図1Aの大きな溝断面が理想だが強度が確保できず、現状は図1Bのような効果の小さい溝断面を採用している。JAXAでは数値流体解析や試験を通じて現象の理解を深め、独自の片刃形リブレット(特許出願)を考案し、従来(図1B)より30%以上高い世界トップレベルの抵抗低減を実現し、2%の燃費低減技術を獲得した。(図2、図3C参照)

②既存のエアライン運用機体に適用できる施工性

耐久性のある既存の航空機用塗料で塗装とリブレット溝の両方を同時施工する技術について、転写シート成形法と、レーザー加工法の2種を企業2社と共同開発し、サンプル評価試験をエアラインで実施して、実運用の基準を満たす付着強度と旅客機に重要な美観も併せ持つ評価を得た。

③飛行試験による耐久性確認

2022年5月以降に実施する、実際のエアライン運航機体による耐久性確認飛行試験の準備が完了した。(図3D参照)

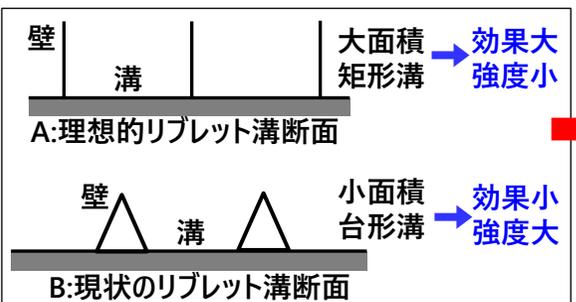


図1 従来リブレットの課題

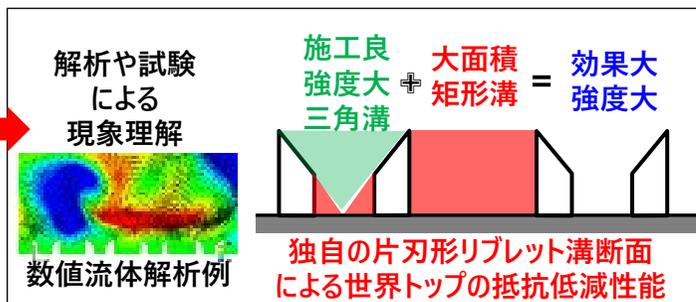


図2 JAXA独自の片刃形リブレットによる世界トップの抵抗低減

世界のリブレット技術	競合5者の値	JAXA	<p>■:リブレット適用箇所</p>
燃費低減	1.6%	2%	

C:機体全体に適用時の燃費推算 D:2022年5月以降実運航機体による耐久性飛行試験を開始

図3 燃費低減と飛行試験実証

期待されるアウトカム：世界トップの抵抗低減技術による国際競争力向上とCO₂削減

リブレット技術は、今ある機体にも適用できるため、来年度のエアライン飛行試験等を通じて耐久性評価や大面積施工技術開発が進んで技術移転されることにより、日本の産業競争力向上に貢献できる。また、リブレット技術を現在運航中の世界中の旅客機に適用すると、年間約1600万トンのCO₂削減と4800億円の燃料費削減が期待でき持続可能な社会の実現に貢献できる。

補足 2 ①環境に負荷を与える排出物の削減など、経済性を考慮しつつ持続可能な社会の実現を目指して

背景・課題：騒音を低減する高効率吸音ライナ技術の必要性和課題

エンジンの燃費改善のための高バイパス比化とナセルの縮小は、ファンとの空力干渉増加とファン騒音の吸音面積の減少により騒音増加をもたらすため、将来の航空機には燃費削減技術に対応した低騒音化技術が必要である。燃費改善のためにナセルを縮小しても高い吸音性能を実現するライナ技術が必要であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

アウトプット：JAXA独自の高効率吸音ライナ技術の開発

高速気流中でも高い吸音率を実現する吸音技術

エンジンナセル内部に設置する吸音ライナの課題の一つは、高速気流中で吸音率が低下することである。これは、吸音ライナ開口部からセル構造への気流の流入に起因する。対策として、吸音ライナ表面に0.2mm程度の微細孔を多数有する薄膜 (FPF : Fine-Perforated-Film) と特殊な空隙層を付加する独自の吸音ライナを考案した (特許出願)。要素試験とCFDによる改良を重ね、高速気流中でも高い吸音性能を維持できる高効率吸音ライナ技術を開発 (図2) し、従来の基準吸音ライナ (図1) よりも約40%騒音低減する吸音性能 (-2dB) をエンジン試験で実証 (図3) した。また、吸音現象の把握と新しい構造の効果を予測するために、インパルス波形応答を組み合わせたCFD解析を提案し、短時間で広帯域の吸音特性を把握することが可能となり、高効率吸音ライナの開発サイクルを加速することに貢献した。

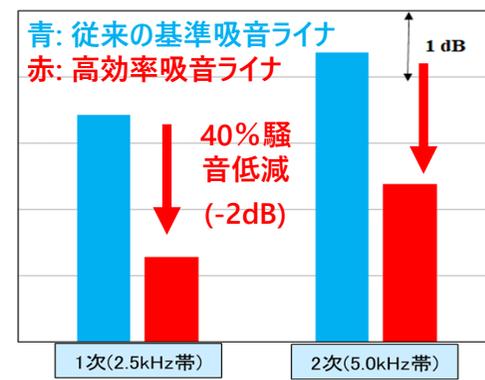
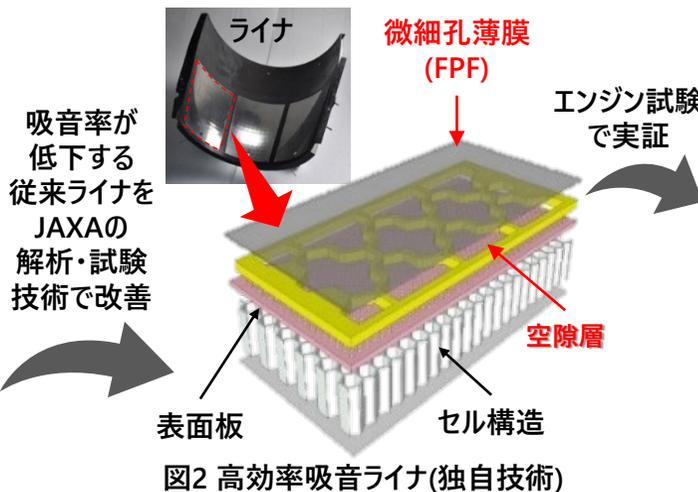
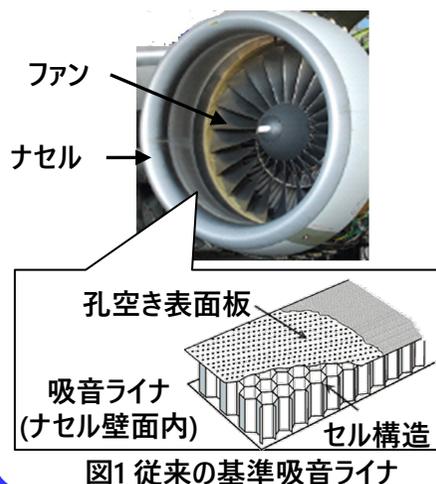


図3 エンジン試験により従来技術より約40%の騒音低減を実証

期待されるアウトカム：独自の吸音と騒音解析技術による国際競争力の向上

本高効率吸音ライナは、国内外の航空関連企業が関心を持っている。航空エンジンナセルへの適用と並行して、小型エンジンメーカの圧縮機低騒音化検討など幅広い分野へのスピノフが見込まれる。当該技術を産業界に移転することにより、騒音問題を抱える企業の国際競争力を高めることができ、最終的には社会の騒音問題の解決に貢献することができる。

補足3 ②空に関わる安全・安心な社会の創出を目指して



背景・課題：過酷な気象状況下でも安全に運航する技術の必要性

世界最悪の積雪が発生する日本の気象環境は過酷であり、滑走路のオーバーラン事故の防止のための取り組み等、安全性や運航率に与える影響を最小化する技術が必要である。ICAO*の滑走路雪氷時の新運航基準では、雪氷状態からタイヤと滑走路間での滑り易さを求めるため、①雪氷状態をリアルタイムで検知できる技術、②埋設型雪氷モニタリングシステムが必要であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

*国際民間航空機関

アウトプット：独自のセンサ技術を用いた埋設型雪氷モニタリングシステムの空港実証

①雪氷状態のリアルタイム検知技術：雪氷内の光散乱が雪氷の厚さや雪質により異なる現象を捉え、AIで雪氷状態をリアルタイムに同定する検知技術を企業大学と共同で開発したが、今年度は近赤外高分解能力カメラ(輝度8bit→14bit)の導入による高分解能の光散乱データと、AIアルゴリズム高度化(特徴量に基づく多段階同定)により、ICAO新基準要求の全雪氷状態を高精度かつリアルタイムで同定する世界唯一の技術を獲得(図1)した。

②埋設型雪氷モニタリングシステム：上記のリアルタイム検知技術と新配置光学系による図2の埋設センサ(滑走路の既存埋設灯火構造と互換)を組み合わせて埋設型雪氷モニタリングシステムを開発、防災科研と共同開発の積雪氷予測技術も搭載した。実証試験を福井空港・新千歳空港で開始(図3)し、実環境下での雪氷状態のリアルタイム検知と予測が可能であるとの成果を得た。

③事業化の検討促進：システム全体の空港運用・事業化の本格検討を複数の関係企業等と開始し、米国での事業化を見据え企業と米国特許を共同出願した。さらに空港会社や鉄道会社等のユーザとも連携を開始している。

ICAO新基準要求と滑走路適用性	衛星リモセン(千葉大他)	VAISALA社(フィンランド)	JAXA
全種雪氷状態の同定能力	×	×	世界唯一 → ○ (FY2020は△)
雪氷厚さ計測能力(精度数百ミリ)	×	△ (有無の検知)	○ (精度数ミリ)
滑走路への適用性(観測時間に難)	△	○ (滑走路埋設型)	○ (滑走路埋設)

赤：FY2021成果

埋設センサ開発



空港実証



図1 雪氷同定/厚さ計測、滑走路適用を実現する世界唯一の技術

図2 埋設センサ

図3 埋設型雪氷モニタリングシステムの新千歳空港実証

期待されるアウトカム：より安全・安心な飛行の実現と装備品の産業競争力向上

世界唯一のセンサ技術の技術移転等により、安全運航分野における技術優位性を高め、日本の国際競争力の向上に寄与できる。また、積雪氷予測を含む雪氷モニタリングシステムの運用により航空機運航・空港管理が実施されるようになれば、突発的なオーバーラン事故や遅延・欠航を低減でき、安全性を確保しつつ高い経済効率を実現する運航に貢献できる。

補足4 ②空に関わる安全・安心な社会の創出を目指して



背景・課題：防災・減災からより広い危機管理に対応する必要技術

従来の防災・減災に加えて警備・警戒も含めたより広い危機管理に対応するため、国家的イベントである東京オリパラ大会において以下の課題に対応した。
 ・イベント会場周辺の飛行制限空域を低高度飛行するヘリコプタや小型飛行機は従来の航空管制システムの覆域外となるため、①低高度空域の監視システムが必要とされた。
 ・多省庁連携（警察庁、消防庁、海上保安庁、自衛隊等）による警備・警戒や、民間事業者による報道・インフラ監視等の目的で多数機が運航されるため、イベントの安全・円滑な運営と周辺空域の飛行安全（過密防止）のための②運航計画調整システムが必要とされた。

アウトプット：D-NET*を用いた空域統制による東京オリパラ大会への貢献

災害・危機管理対応統合運用システム(D-NET)を500機超の官民機に適用し、

- ①低高度空域監視：衛星通信を用いた小型・軽量持込型機上システムの開発・適用や航空管制レーダの質問応答信号を用いた機体位置算出システムとの統合化により、全国40カ所の競技会場周辺を空域統制所から一元的に監視するシステム・体制を構築し、不審機の早期発見を可能にした。（図1、図2参照）
- ②多機関・多数機の運航計画調整：運航計画の電子化・共有化、運航状況の可視化等による運航計画調整機能を開発（特許出願）し、従来法より調整時間を65%削減した。（図1参照）

⇒①と②の成果により、東京オリパラ大会の安全・円滑な運営に貢献した。

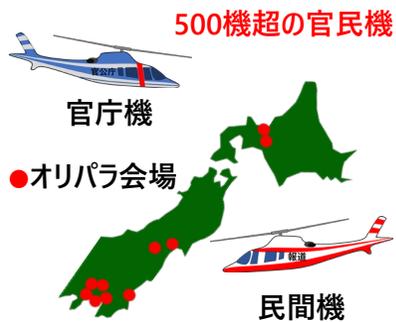


図1 全国40カ所の競技会場空域の一元監視と運航計画調整の効率化

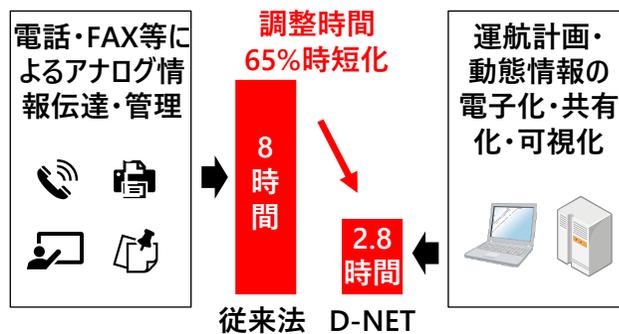


図2 一元的な監視と運航計画調整が東京オリパラ大会運営に貢献



図3 トンガ災害対応で初のD-NET 国外運用環境を迅速に提供

※1 陸上自衛隊Twitterより引用

アウトカム：低高度空域管理におけるデファクト化と国際緊急援助活動への貢献

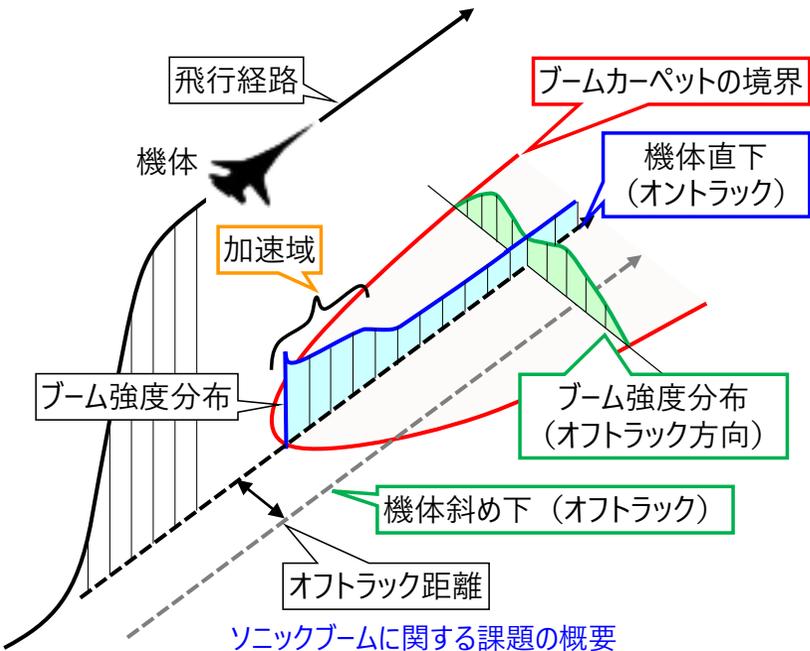
D-NETが日本の低高度空域管理におけるデファクトスタンダードへと成長し、従来機・空飛ぶクルマ・無人機など多種多様な機体運航を実現する将来の運航管理プラットフォームの基礎を確立した。また、自衛隊のトンガ沖大規模噴火・津波対応に際し、D-NETプログラムを改修し（陸上自衛隊システムへの対応、南半球での動作対応等）、現地で低高度運用される陸上自衛隊ヘリの活動状況を国内でも情報共有できる初のD-NET国外運用環境を迅速に提供し、国際緊急援助活動に貢献した。（図3参照）

*D-NET：Disaster relief aircraft management system-Network

補足5 ③遠隔地との移動時間を大幅に削減する超音速機技術の獲得を目指して

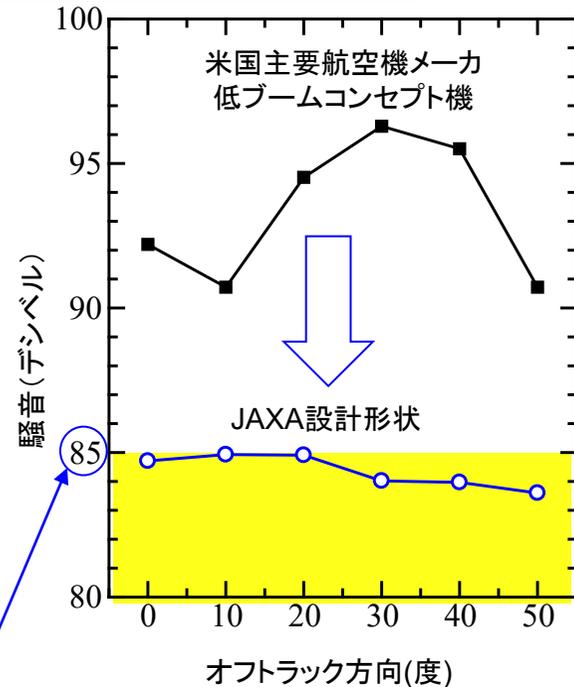
背景・課題：静粛な超音速機技術の必要性

超音速機が社会に受容されるためには、陸上の超音速飛行が機体直下及び機体斜め下（オフトラック方向）の位置で凡そ85PLdBレベルの騒音（ソニックブーム）低減が必要であり（下図）、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。



アウトプット：静粛超音速機の低騒音設計

昨年度は、ビジネスジェット機にJAXA設計技術が有効であることを確認した。今年度は、よりスケールの大きい旅客機サイズの機体に適用できるように、機体揚力を最適に分布させられるように設計技術を改良し、実機の排気条件も考慮した巡航条件において、全オフトラック位置で将来許容されると考えられる騒音レベルである85PLdB以下を達成した（右図）。今後は実証試験により技術力を向上させる。また、実証試験計画を含めた研究開発概要を下記QRコードのWebサイト（YoutubeのJAXAチャンネル）にて公開中。



将来許容されると考えられるレベル

期待されるアウトカム：国際競争力の向上

将来、低ブーム超音速機のOEMとなる可能性が高い米国主要航空機メーカーに対して、JAXA技術によりソニックブームの将来許容されると考えられるレベルを満足することを示すことができれば、我が国産業界の超音速機国際共同開発の参画につながる。また、陸上超音速飛行が可能になった場合の旅客輸送の市場規模は約9,600億円/年*と予測しており、大きな経済効果が期待される。

*2050年までに1機あたり218億円の超音速機が4414機発注される場合の今後30年にわたる市場規模（合計96兆円）に対し、30%の国内シェア獲得を予測した場合。

評定理由・根拠 (補足)

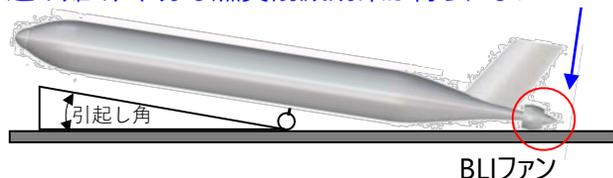
補足6 ④航空機起源のCO₂排出量を抜本的に削減する電動航空機技術等の獲得を目指して

背景・課題：電動ハイブリッド航空機実現に必要な技術

厳しいCO₂削減要求に対する解の一つとして、エンジンと胴体尾部電動BLI*ファン(下図)を連携させるハイブリッド推進システムが期待されているが、運用性を考慮した燃費削減、故障時に飛行継続に影響させない、等の課題解決のため、①尾部推進システムの最適配置設計と②発電システムの信頼性/エンジン保護が必要であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

*BLI(Boundary Layer Ingestion : 境界層吸い込み技術)

引き起こし角を確保するため尾部形状が制約され、BLIファンを効率的に作動させるための低速流を吸い込み難く、十分な燃費削減効果が得られない



他機関が提案するBLIファン搭載尾部形態の課題

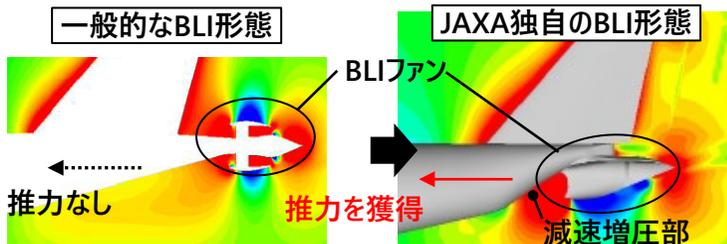
期待されるアウトカム：他産業の航空分野参画促進、産業界競争力強化への貢献

①信頼性確保技術による、航空産業以外の国内企業参入促進②ファン搭載設計技術の連携企業への移転による国内メーカの競争力向上③JAXA信頼性要求値の国際的な基準策定反映による国内メーカの競争力向上など、**世界に先駆ける電動航空機技術が日本の産業競争力の強化に貢献する。**

アウトプット：世界最高の燃費低減と、独自の保護技術による故障可能性の低減

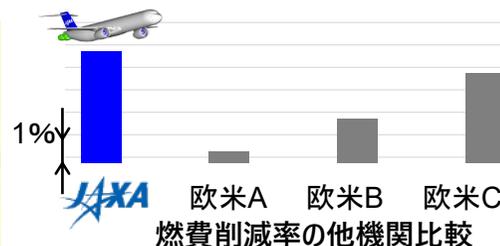
①システムの最適配置設計

BLIファンナセル形状・サイズ・位置および胴体尾部形状の工夫により、現行機より5%以上燃費削減する**世界最高レベルの燃費削減率**(下図)と、現行機と同等の離着陸操縦時引き起こし角を同時に実現(BLIファン搭載法特許出願)し、**実用化に向けた尾部推進システム配置の問題を解決した。**



胴体推力獲得設計による空気抵抗削減の工夫

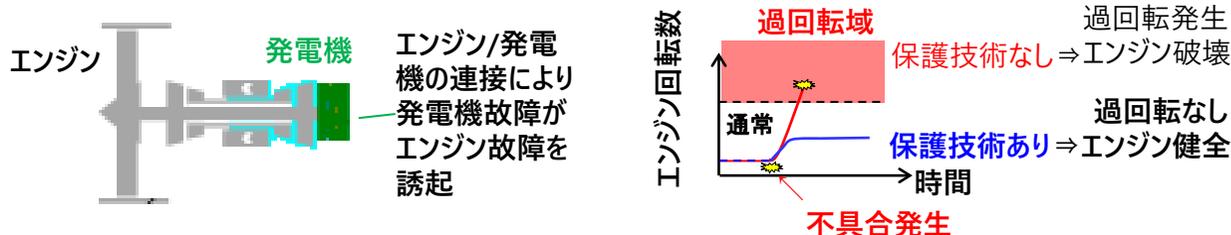
胴体尾部**絞り形状とBLIナセル配置を同時最適化することで**、流れを減速させ、同時に**増圧**。**双発形態により低速域を広く捕獲しファンを効率的に作動**させることに加え、増圧部が胴体を前方に押し抵抗を低減する(推力に相当)効果により燃費を削減した。



※航続距離約4000nmの飛行に必要な燃料重量について、現行機からの削減割合を表示
※他機関の性能に関する公知情報を基に、JAXAが解析

②発電システムの信頼性/エンジン保護技術

ジェットエンジンに接続する**発電機の不具合時に**、発電機を故意に不動作状態に変化させ高速電磁ブレーキとして兼用し、**エンジン本体の過回転発生を抑制して連鎖故障を防止する世界初の技術を考案した。**模擬装置試験により不具合発生時の挙動を実証(下図)し、本技術適用前と比較し、**故障が発生する可能性を凡そ1/10000に低減**できることを確認(2件特許出願)した。本技術は、安全対策用の追加機器が不要で重量増大の懸念が無い**ため、電動ハイブリッド推進システム成立の見通しを得た。**



発電機故障時にエンジン過回転故障を防止する保護技術

補足 7 ⑤我が国の航空機開発の迅速化・効率化や航空産業の持続的発展の支援を目指して

背景・課題：現象解明とモデリング技術、予測技術の必要性

航空機システムの複雑化に伴い、開発コストが増大し、開発期間も長期化している。この課題を解決するため、数値シミュレーション等のデジタル技術を活用したバーチャル空間試験による短時間・低コストの性能評価が重要である。特に、航空機の安全性を確保するために重要な①翼胴結合部の空気流れ（コーナー剥離）や②衝撃波振動（バフェット境界）等の**複雑現象を予測可能な技術が必要**であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

アウトプット：世界トップの複雑現象解析技術

①コーナー剥離解析 (図1、下表)

航空分野で標準的に使用される既存の乱流モデル（ボーイングモデル）で実験結果を正しく計算できなかった原因が、空気流れの乱流現象に起因する渦粘性係数が過大であることを確認し、**渦粘性係数の時間項に加減速時にのみ修正されるパラメータを導入したJAXA独自の乱流モデルを開発した。**

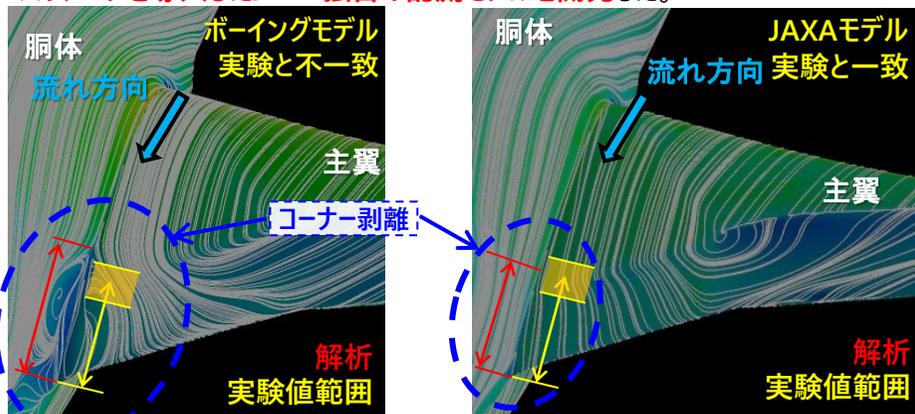


図1 世界に先駆けてコーナー剥離を正確に解析

JAXA解析技術群は従来の解析で不可能だった推定を可能にし、主要航空機メーカー・海外研究機関が到達できなかったレベルの**開発コスト低減と安全性確保への道筋を開いた。**

②バフェット境界予測 (図2、下表)

航空機メーカー、海外研究機関が開発不可能だった実用的な解析コードを、大規模行列を陽に形成しない手法を採用、**JAXA独自の全体安定性解析コードを開発した。**

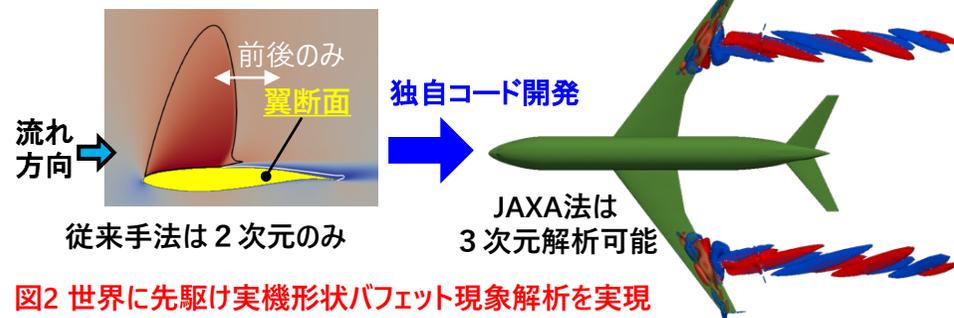


図2 世界に先駆け実機形状バフェット現象解析を実現

JAXA解析技術の優位性	①コーナー剥離解析*		②バフェット境界予測		
機関 (国)	剥離の長さ	解析精度	乱流	複雑形状	3D**
ボーイング (米)	146	×	○	×	×
DLR/Liverpool (独)	-	-	○	○	△
★ JAXA	127	○	○	○	○

* 実験で計測されたコーナー剥離長は104-134mm

** 3D: 3次元解析への対応を示す。×は準2次元計算、△は小規模な3次元解析

期待されるアウトカム：複雑な流れの現象に関する開発コストの低減

複雑現象に対応した空力形状の設計開発に際し、JAXAの解析コード群を活用することにより**航空機開発コストの低減に貢献**できる。シミュレーション結果は情報公開済で、航空産業界のみならず他の分野や学术界での利用が可能となっており、**JAXA成果の幅広い産業分野への適用が期待**できる。

補足8 ⑤我が国の航空機開発の迅速化・効率化や航空産業の持続的発展の支援を目指して

背景・課題：航空機開発のDX技術の必要性

リスク／コスト低減のため、航空機開発・認証におけるDX技術として数値解析を用いた認証 (CbA: Certification by Analysis) が注目され、欧米を中心にCbAの適用に関するガイドラインが議論されている。飛行性分野でCbAを実施するためには、認証で行われている**飛行試験を数値解析で代替することが必要**であり、課題解決に向けて社会実装可能な技術を開発する。

期待されるアウトカム：認証のリスク／コスト低減に貢献する航空機DXコンソーシアム

成果の受け手となる航空機メーカーや、CbAの国際ワーキンググループ (欧米の機体メーカー及び認証機関が検討メンバー) と連携した研究進展により、**DXによる認証のリスク／コスト低減が期待**される。航空機ライフサイクルDXコンソーシアムを2022年度に設立予定であり、産学官連携促進による**産業競争力の強化が期待**される。

アウトプット：CFDベースの飛行シミュレータ開発

CFDベースの飛行シミュレータを開発し、機体の縦のバランス (トリム) を想定した飛行運動解析を実施した。機体メーカーの飛行シミュレータ (図1) を採用し、空力データベースをJAXAのCFD (数値流体力学) コードFaSTARで解析した結果に置き換えている。解析結果を飛行試験結果と比較したところ、**解析誤差が飛行試験誤差と同等 (図2) であり、解析で飛行試験を代替できる可能性を示した。**パイロットが操縦して評価可能な**CFDベース飛行シミュレータは世界初** (公開情報ベース) (表1)。



図1 飛行試験を代替するCFDベース飛行シミュレータ

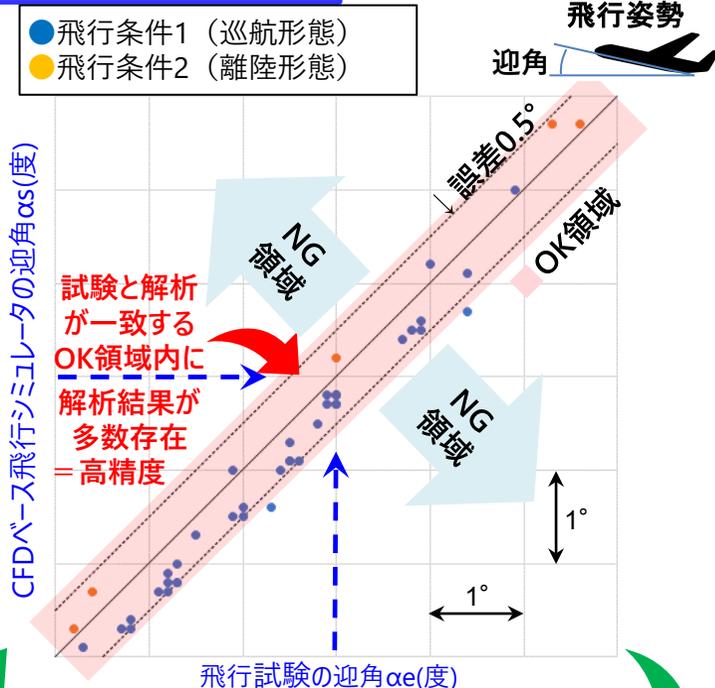


図2 高精度で飛行姿勢を模擬するCFDベース飛行シミュレータ

表1 パイロット評価やコストに優れたJAXAシミュレータ

飛行特性検証法	パイロット評価有無	コスト/時間削減
飛行試験 (従来手法)	○	×
CFDベース飛行シミュレータ (海外機関)	×	△
★ CFDベース飛行シミュレータ (JAXA)	○	○

(1) 社会からの要請に応える研究開発					
目的	分類	中長期アウトプット目標	中長期アウトカム目標	FY2021アウトプット	FY2021アウトカム
① 環境に負荷を与える排出物の削減など、経済性を考慮しつつ持続可能な社会の実現を目指して	抵抗低減・軽量化・高効率化	機体の形状や構造を工夫して世界トップや世界初の抵抗低減/軽量化等の低環境負荷要素技術を開発し、飛行試験や大規模地上試験により有効性を実証する。エンジン技術については、高い燃費性能を維持しつつ、世界トップの低NOxを実現する実機適用可能な要素技術を獲得する。これらの機体やエンジン技術の集積によりCO ₂ 削減を目指す。	世界トップや世界初の、抵抗低減、軽量化、低排出エンジン技術、騒音低減・予測技術等をメーカやエアライン等に技術移転し、CO ₂ の削減や空港周辺や客室内における騒音被害の低減など環境負荷を下げる技術を社会実装して、日本の産業競争力を向上させつつ、持続可能な社会の実現に寄与する。	機体抵抗の5割を占める摩擦抵抗を低減するリブレット技術に取り組んだ。リブレットは、機体表面に微細な溝を設けることにより摩擦抵抗を低減させるものであるが、JAXAでは数値流体解析や試験を通じてリブレットの現象理解を深め、独自の片刃形リブレット(特許出願)を考案、従来のリブレットより30%以上高い世界トップレベルの摩擦抵抗低減性能を実現し、全機で2%の燃費低減技術を獲得した。	リブレット技術は、将来機のみならず今ある機体にも適用できる汎用性を持っており、来年度予定のエアライン飛行試験等を通じて耐久性評価や大面積施工技術開発等が進んで技術移転されることにより、日本の産業競争力向上に貢献できる。また、リブレット技術を現在運航中の世界中の旅客機の胴体に適用すると、年間約1600万トンのCO ₂ 削減と4800億円の燃料費削減が期待でき持続可能な社会の実現に貢献できる。
	騒音低減	世界トップの騒音低減デバイスや騒音予測ツールを開発し、実機や実エンジンをを用いた試験により有効性を実証する。		エンジン低燃費化設計に伴う騒音増大を解決する吸音ライナ技術に取り組んだ。エンジンナセル内部に設置される吸音ライナは高速気流中で吸音性能が低下する問題がある。JAXAでは吸音ライナ表面に0.2mm程度の微細孔を多数有する薄膜と特殊な空隙層を付加する独自の吸音ライナ技術を考案(特許出願)。その結果、小型エンジン試験によって従来の基準吸音ライナよりも約40%騒音低減する吸音性能(-2dB)を技術実証した。	本高効率吸音ライナは、国内外の航空関連企業が関心を持っている。航空エンジンナセルへの適用と並行して、小型エンジンメーカの圧縮機低騒音化検討など幅広い分野へのスピノフが見込まれる。当該技術を産業界に移転することにより、騒音問題を抱える企業の国際競争力を高めることができ、最終的には社会の騒音問題の解決に貢献する。

(1) 社会からの要請に応える研究開発					
目的	分類	中長期アウトプット目標	中長期アウトカム目標	FY2021アウトプット	FY2021アウトカム
② 空に関わる安全・安心な社会の創出を目指して	空の安全 (事故防止・気象影響防御・パイロット支援)	航空機の事故防止や気象影響からの防御、安全な飛行環境を提供するパイロット支援等については、 <u>世界トップや世界初の新たな装備品を開発し飛行実証や空港実証により有効性を実証する。</u>	航空機の安全性を向上させる技術、無人機を含む複数機関の機体が輻輳する空域の管理技術等を装備品企業等に技術移転して、事故の防止や効率的な飛行、防災・減災活動を支える技術を社会実装し、日本の <u>産業競争力を向上させつつ、安全・安心な社会の実現に寄与する。</u>	航空機のオーバーラン事故を防止する技術に取り組んだ。オーバーラン事故の防止には、 <u>滑走路の雪氷状態をリアルタイムでモニタできるシステムが必要</u> である。今年度は近赤外高分解能カメラの導入による高分解能の光散乱データと、AIアルゴリズム高度化により、 国際民間航空機関新基準の全雪氷状態を高精度かつリアルタイムで同定する世界唯一の技術を獲得 した。上記のリアルタイム検知技術を用いた埋設型雪氷モニタリングシステムを開発、 実証試験を福井空港・新千歳空港で開始 し、実環境下での雪氷状態のリアルタイム検知と予測が可能との成果を得た。	世界唯一のセンサ技術等の成果を企業に技術移転することにより、航空機の安全運航を支える分野における技術優位性を高め、日本の国際競争力の向上に寄与できる。また、積雪氷予測を含む雪氷モニタリングシステムの運用により航空機運航・空港管理が実施されるようになれば、 突発的なオーバーラン事故や遅延・欠航を低減でき、安全性を確保しつつ高い運航効率の実現に貢献できる。
	空の利用 (防災・無人機)	複数機関の機体が輻輳する空域の管理や無人機の飛行技術については、 <u>世界初や世界トップの運行管理・飛行制御技術を開発し実際の運用への活用や飛行試験により有効性を実証する。</u>		従来の防災・減災に加えて警備・警戒も含めたより広い危機管理に対応するため、国家的イベント（2021年東京オリパラ）において以下の課題に対応した。災害・危機管理対応統合運用システム(D-NET)上で 500機を超える政府・民間機を対象 として、①衛星通信を用いた小型・軽量持込型機上システムの開発・適用や航空管制レーダの質問応答信号を用いた機体位置算出システムとの統合化により、 全国40カ所の競技会場周辺を空域統制所から一元的に監視するシステム・体制を構築し、不審機の早期発見を可能にした。 ②運航計画の電子化・共有化、各時刻における運航状況の可視化等による 運航計画調整機能を開発（特許出願）し、従来法より調整時間を65%削減 した。	左記の①と②の成果により、 東京オリパラ大会の安全・円滑な運営に貢献 した。これら実績により、D-NETが日本の 低高度空域管理におけるデファクトスタンダードへと成長 し、従来機・空飛ぶクルマ・無人機など多種多様な機体運航を実現する 将来の運航管理プラットフォームの基礎を確立 した。また、 自衛隊のトンガ沖大規模噴火・津波対応 に際し、D-NETプログラムを改修し（陸上自衛隊システムへの対応、南半球での動作対応等）、現地で低高度運用される陸上自衛隊ヘリの活動状況を国内でも情報共有できる 初のD-NET国外運用環境を迅速に提供し、国際緊急援助活動に貢献 した。

(2) 次世代を切り開く先進技術の研究開発

目的	分類	中長期アウトプット目標	中長期アウトカム目標	FY2021アウトプット	FY2021アウトカム
③ 遠隔地との移動時間を大幅に削減する超音速機技術の獲得を目指して	超音速機技術	低ソニックブーム／低抵抗／低騒音／軽量化に対する技術目標を同時に満たす世界トップの機体統合設計技術を開発しつつ、飛行実証計画を立案する。	得られた成果の提供により2030年代に予想される陸地上空を超音速飛行する超音速機の市場を拓く国際基準策定を推進し、超音速機の国際共同開発でのシェア獲得に貢献する。	今年度は、JAXA独自の低ソニックブーム設計技術を米国主要航空機メーカーによる旅客機サイズの低ブームコンセプト機に適用し、 陸上超音速飛行が許容される低騒音化の実現に目途を得た。	陸上超音速飛行が可能になった場合の 旅客輸送の市場規模は年間9600億円と予測しており、経済効果が期待される。
④ 航空機起源のCO ₂ 排出量を抜本的に削減する電動航空機技術等の獲得を目指して	電動航空機技術	我が国の優位技術を糾合して、世界に未だ無い旅客機に適用できる世界トップの電動航空機技術を獲得し、大規模地上実証に向けた計画を立案する。	世界で始まった技術開発競争を勝ち抜き、将来の電動航空機の国際共同開発における優位な立場を獲得し、脱炭素社会の実現に貢献する。	エンジンと電動ファンを連携させるハイブリッド推進システムの実用化に向けた燃費削減と実機成立性を同時に実現（特許出願）する 電動ファンの最適配置設計を見出し 、エンジンに搭載した発電機に不具合が発生した際、エンジン本体の過回転による 推進システムの故障を防止する技術を考案して原理実証試験により有効性を確認 （2件の特許出願）した。これらにより、 電動航空機の実用化に向けたシステム配置の問題を解決した。	①信頼性確保技術による、航空産業以外の国内企業参入促進②ファン搭載設計技術の連携企業への移転による国内メーカーの競争力向上③JAXA信頼性要求値の国際的な基準策定反映による国内メーカーの競争力向上など、 世界に先駆ける電動航空機技術が日本の産業競争力の強化に貢献する。

③ 航空産業の持続的発展につながる基盤技術の研究開発					
目的	分類	中長期アウトプット目標	中長期アウトカム目標	FY2021アウトプット	FY2021アウトカム
⑤ 我が国の航空機開発の迅速化・効率化や航空産業の持続的発展の支援を目指して	基盤技術	次世代細胴機、空飛ぶクルマや無人機等の開発・運用や、国内完成機事業の再開を対象として、世界トップの多分野統合数値シミュレーション技術の獲得、世界トップ・世界初の先進的な試験・計測技術の開発、将来需要を見据えた基盤的な施設・設備の整備を推進する。	空の移動に関わるJAXA 内外の利用需要に応え、世界トップや世界初の基盤的技術や設備を維持・強化し、メーカーの開発環境を支援して産業や学術分野における国際競争力の向上に寄与する。	<p><大規模解析技術> 航空機の空力性能に大きく影響する翼胴結合部の流れの剥離現象を正確に計算できる乱流モデルや、航空機の安全性を損なうバフェット（衝撃波振動）を3次元複雑形状に対して予測できる安定性解析コードを世界に先駆けて開発。航空機開発における数値シミュレーションの活用範囲を拡大し、近年増大する開発コストや開発期間の短縮を可能とした。</p>	航空機メーカーとJAXA解析コードを用いた実用研究計画を策定中であり、複雑現象に対応した 航空機メーカーにおける空力形状の設計開発の効率化が期待される 。また、大規模解析技術のシミュレーション技術は航空以外の分野における利用も期待されている。
				<p><航空機開発のDX技術> 航空機開発のDXにより認証プロセスを革新する研究開発として、JAXAのコア技術であり世界トップレベルの高速性をもつ流体解析ツールFaSTARの結果を飛行シミュレータに組み込み、シミュレーションによる飛行姿勢や安定性等を飛行試験データと比較検証、認証のための飛行試験の一部をシミュレーション（解析）に代替できる可能性を示した。</p>	

財務及び人員に関する情報

項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
予算額 (千円)	9,053,830	9,999,540	9,100,683	9,495,840			
決算額 (千円)	9,349,850	9,371,642	9,532,871	9,687,506			
経常費用 (千円)	9,679,777	10,784,622	8,892,882	9,564,379			
経常利益 (千円)	△261,584	38,584	△ 19,006	60,726			
行政コスト (千円) (※1)	10,770,273	15,242,081	10,704,441	11,007,735			
従事人員数 (人)	221	229	233	242			

(※1) 「独立行政法人会計基準」及び「独立行政法人会計基準注解」の改訂(平成30年9月改定)に伴い、2018年度は「行政サービス実施コスト」、2019年度以降は「行政コスト」の金額を記載。

主な参考指標情報

項目 \ 年度	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
共同研究数	128件	132件	121件	149件			
受託研究数	5件	6件	10件	9件			
ライセンスの供与の件数	8件	7件	3件	6件			
知的財産権の出願	42件	50件	54件	39件			
知的財産権の権利化	28件	14件	16件	25件			
研究設備の供用件数	25件	40件	37件	66件			

2021年度 自己評価において抽出した抱負・課題	対応方針
<p>コロナ禍後に環境に対する意識が強まり、2020年10月、日本は「2050年カーボンニュートラル」を宣言し、経済産業省主導でグリーン成長戦略が示された。その中で航空機産業は取り組みが不可欠な14の重要分野の1つに位置づけられている。次世代旅客機の鍵技術となる電動航空機の推進系電動化技術は、重要分野の「工程表」で具体的な取り組みとして挙げられており、早期確立に向けたシステム実証が必要である。</p>	<p>海外航空機メーカー等との意見交換により得られた国際的な動向を踏まえ、航空機電動化コンソーシアムの枠組みも活用して国内メーカー・関係機関と連携し、国内の電動化優位技術である発電機や電力変換器等を、JAXAが有するBLI(Boundary Layer Ingestion)技術や電力源の安全保護技術等を組み合わせた電動航空機用ハイブリッド推進システムの技術実証に向け、システムと構成要素の仕様検討ならびにJAXA設備や解析技術等を活用した技術実証方法の具体化を引き続き実施する。</p> <p>さらに、将来の電動推進技術開発にも役立つ水素試験設備の導入に向けて、関係機関との調整を進展させ、計画の策定や実行に向けて積極的な活動を行う。</p>