

次期宇宙基本計画、科学技術基本計画に向けた 宇宙開発利用部会の考え方について（まとめ） ~~（案）~~

令和元年9月26日
科学技術・学術審議会
研究計画・評価分科会
宇宙開発利用部会

宇宙開発利用部会では、科学技術・学術審議会から要請を受け、宇宙分野に関する次期科学技術基本計画に向けた検討を行い、考え方を整理した。

また、現在、内閣府宇宙政策委員会が次期宇宙基本計画の改訂に向けた検討を関係府省・機関等の出席を得て進めることとしており、本考え方が宇宙政策委員会（及び関連部会等）に文部科学省としての宇宙政策の方向性を提示する際の基礎となることを求める。

0. 導入（宇宙開発利用の現状と将来の見通し）

科学技術基本計画における宇宙分野は、第2期（平成13～17年度）において、フロンティア分野のみの位置づけであったが、第4期（平成23～27年度）では、国家安全保障・基幹技術にも位置づけられ、さらに、第5期（平成28年度～）では、その位置づけは気候変動の監視や測位などの実利用を含む幅広い分野にも広がってきている。

また、平成28年に閣議決定された宇宙基本計画では、「宇宙安全保障の確保」、「民生分野における宇宙利用推進」、及びそれを支える「産業・科学技術基盤の維持・強化」が政策目標として示され、防災・安全保障等に向けた衛星利用や、新たな産業の創出等に向けた民生利用も広がりつつある。

さらに、今日では地球規模課題解決に向けた達成目標がパリ協定やSDGs等で具体化してきたこともあり、今後は宇宙の利用範囲の広域性・多様性を活かした様々な課題解決に向けた取組の重要性が増すことや、社会課題の多様化や非常に速い時代変化に対応するため、これまでの宇宙分野の枠組みにとどまらない新たな融合領域の創出などが求められることから、宇宙分野に携わる研究者や宇宙技術の利用者の増加・多様化を図っていく必要がある。

科学技術基本計画及び宇宙基本計画は、これらの宇宙に関連する中長期的な情勢変化を踏まえることが重要と考えられる。

1. 中長期的視点に立った宇宙政策の目標の考え方

現行の宇宙基本計画の3つの政策目標は、次期宇宙基本計画の検討においても新たな環境変化を踏まえた必要な取組にも留意しつつ、重要なテーマとして審議される見込みである¹ことを考慮し、次期科学技術基本計画についても、宇宙政策の目標については、この方針と連動させるべきと考えられる。

そのため、

- 現行の第5期科学技術基本計画において、国家安全保障上の諸課題への対応に向けて「宇宙空間」が重要な領域として記載されていること、及び平成30年12月に閣議決定された防衛大綱等に新たな領域²として宇宙が記載されたことなどを踏まえると、引き続き、安全保障上の重要分野として宇宙を盛り込むべきである。
- また、宇宙に携わる新たな民間事業者等が増えていることから、我が国の産業競争力の強化の文脈においても「成長産業としての宇宙」を明確に盛り込むべきである。
- さらに、次期宇宙基本計画において、安全保障、民生利用を支える宇宙開発利用のための総合的な基盤技術や、宇宙環境利用等が、我が国の科学技術全体の水準向上に大いに貢献³し、今後も更なる科学技術の発展に寄与しうることも盛り込むべきである。

なお、これらの考え方に基づく様々な施策・事業等を進めるに当たっては、

- パリ協定やSDGs等の国際社会全体の動きも踏まえ、我が国だけでなく他の国にも裨益し、延いては、国際社会に必要不可欠な社会基盤となるものを目指すという観点も盛り込むことが重要である。

また、宇宙技術と宇宙政策の目標は必ずしも一対一の関係だけではなく、例えば、宇宙技術が安全保障と民生利用の双方の政策目標の実現に貢献する⁴ものがあることにも留意する必要がある。

¹ 6月24日の宇宙政策委員会において、次期宇宙基本計画改訂に向けた検討を行う基本政策部会が設置。部会の検討事項として（1）安全保障環境を踏まえた新たな宇宙安全保障への取組、（2）民間における宇宙利用の進展や新たな産業の登場を踏まえた宇宙の民生利用の取組、（3）国際宇宙探査や宇宙科学・探査などの新たな展開を踏まえた今後の宇宙産業・科学技術基盤の強化への取組、（4）その他、新たな環境変化を踏まえた必要な取組、が挙げられている。（8月時点）

² 新たな領域として「宇宙・サイバー・電磁波」の領域が追加。国研として唯一、JAXAが追加。

³ 例えば、微小重力環境下での科学実験や宇宙線を使った計測技術（ミュオグラフィ）など

⁴ 例えば、衛星のリモートセンシング技術は、防災・災害監視を含む安全保障に有用であるとともに、その中でも高分解能の光学衛星等は、産業利用価値も高い。また、スペースデブリ対策に向けた技術として、宇宙状況把握（SSA）などの観測・モデル化技術は、防衛省を中心に全体システムを構築しており、宇宙安全保障に大いに貢献する一方で、除去技術については、ビジネス（民生利用）として進めていく動きも見られる。

2. 将来の見通しを踏まえた宇宙技術の技術基盤発展の考え方

フロンティア開拓を第一次目標として進めていた時期(萌芽期)の宇宙技術は、システム工学として最先端かつ高信頼性の技術を組み合わせて発展してきた。それにより生まれた先端的な宇宙技術は、今日の地上の技術にスピンオフされ社会に様々な価値を提供してきた。

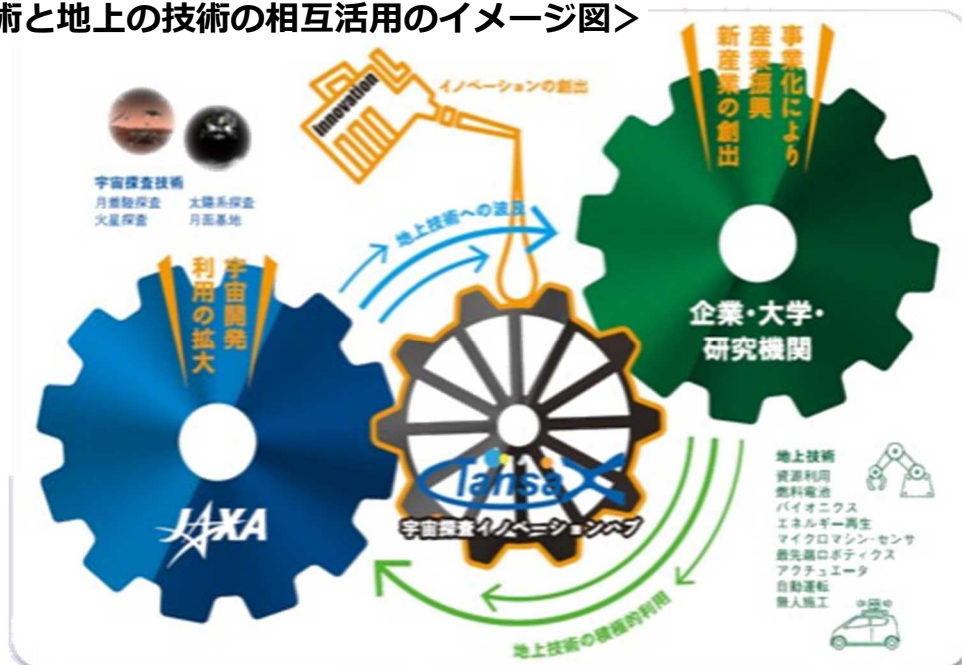
他方、既存の民間事業者等の技術の成熟・高度化とともに、近年、新たな民間事業者等の参入が拡大してきていることから、人工衛星・宇宙輸送機(ロケット)及びそのシステム等の低コスト化・高効率化に向けた研究開発も進んできており、宇宙技術に革新を起こすという観点からも、他分野技術の活用が求められるようになってきている。

特に、サイバー空間(仮想空間)とフィジカル空間(現実空間)が高度に融合された社会(Society5.0⁵)の実現に向け、宇宙技術の研究開発においても地上の先端技術を活用が強く求められてくることから、

- 宇宙技術の研究開発を進めるに当たっては、地上の先端的な技術(人工知能、バイオ、光・量子等⁶)の活用が重要となることを盛り込むべきである。
- また、宇宙技術が地上の技術に革新をもたらす起爆剤となりうるという観点も盛り込むべきである。

なお、今後、宇宙技術と地上の先進的な技術の相互活用により更なる発展が考えられる技術の例は<別紙>の通りである。

<宇宙技術と地上の技術の相互活用のイメージ図>



(出典：JST イノベーションハブ構築支援事業 JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業)

⁵ 第5期科学技術基本計画では「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細やかに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」としている。

⁶ 「統合イノベーション戦略2019」における今後イノベーションの核となる主要3技術

3. 宇宙開発利用に関する研究力の向上に向けた研究者や利用者の増加・多様化を見据えた対応の考え方

今年、月面着陸から 50 周年を迎えた米国のアポロ計画では、前項のとおり、宇宙開発が地上の技術を育てただけでなく、若者に宇宙や科学技術等に対する夢と希望を与え、多くの科学者・研究者も育ててきた⁷とされている。

宇宙は遠い存在でありながらも、空を見上げれば、全ての人が身近に感じることができ、今後、このような多くの人々が共感しやすいフロンティア開拓を進めるためには、学際的、文化的なアプローチを含む幅広い視野を持った次世代の研究者が必要となってくる。

また、近年、我が国でも宇宙分野への参入の制度的ハードルが下がりつつあること等から、これまで宇宙分野と関係が少なかった分野の研究者や利用者（人材）の参画が、顕著に増加している。

このような状況を踏まえると、

- 人々の参画意欲を掻き立てるという宇宙の魅力を活かして、我が国の研究力の向上や、分野越境・異分野融合によるイノベーション創出を先導していくことも宇宙分野の今後の重要な役割として盛り込むべきと考えられる。

それにより、宇宙分野に携わる人材の流動性を確保し、これまで大学・国立研究開発法人（JAXA⁸等）で行ってきた研究開発活動についても、今後、民間事業者等を含む産学官の効果的な連携・役割分担を図ることが、我が国全体の宇宙分野の研究力の向上にあたり非常に重要な視点となってくる。

文部科学省では、これまで宇宙分野を専門とする大学や民間事業者等と我が国の宇宙開発利用基盤を構築⁹してきている。また、近年では、宇宙分野を専門としない人材の宇宙分野への参画を促し、資金及び新たな発想等を取り込む環境を JAXA に整備することで、宇宙分野の研究開発の多様性・裾野を広げ、新たな価値創造を促進する枠組みも構築¹⁰している。

これらの活動の今後の取組方針等も見据え、次期科学技術基本計画のシステム関連（研究人材・資金・環境等の改革）の部分¹¹についても、下記の宇宙特有の観点を盛り込むべきと考える。

⁷ NASA 「Historical Studies in the Societal Impact of Spaceflight」、及び米国行政管理予算局 「“Space Activities of the U.S. Government,” 2002.」より

⁸ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

⁹ 宇宙航空科学技術推進委託費(宇宙航空人材育成、宇宙利用技術創出及び宇宙研究拠点形成)

¹⁰ JST イノベーションハブ構築支援事業（JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業）、及び宇宙イノベーションパートナーシップ事業（J-SPARC）

¹¹ 総合政策特別委員会「中間取りまとめに向けた検討案（令和元年 8 月 22 日資料）」における「第 2 章 価値創造の源泉となる基礎研究・学術研究の卓越性と多様性の戦略的な維持・強化」部分

<挑戦的・長期的・分野融合的な研究の奨励>

今後、競争的資金の審査等における挑戦性が重視され、研究評価等においても、当初目標の達成状況のみならず、当初想定されていなかった成果やスピノフを創出したことなどを肯定的に評価していく動向を踏まえ、

- 宇宙分野のように長期的に見て、他の技術への波及効果が大きく見込める分野へのファンディングを充実していくことも重要であるという観点
また、新興・融合分野を促進するための競争的研究費の充実が求められる中で、
- 宇宙分野のように投資家を含む多様な利用者も参画する分野においては、複雑化する資金の管理・循環体制の構築が課題となってくるという観点

<若手研究者の自立促進・キャリアパスの安定>

キャリアパスの多様化や流動性の向上により、世界水準の研究・マネジメント能力を身に付け、世界で活躍できる研究リーダーの戦略的育成が求められる中で、

- リーダーシップが発揮できる人材を育成するに当たっては、宇宙分野のような大規模で長期的なプロジェクト・マネジメントの能力も重要であるという観点
- 宇宙分野のような長期的に人材を育成する必要がある分野では、大学・国立研究開発法人がシームレスに連携し、多様な研究環境を提供するという観点

<世界最高水準の研究環境の実現>

我が国が、最先端の大型研究施設・設備をオールジャパンで利用できる拠点を戦略的に整備していく動きの中で、

- 「きぼう」¹²のように、最先端の研究を行える施設・設備という側面に限らず、国際宇宙ステーションの一部として外交政策上の意義、価値等を有する先端大型研究施設¹³もあることにも留意しつつ整備する必要があるという観点

<国際連携・国際頭脳循環の強化>

人材の国際的な獲得競争が激化し、国際頭脳循環が加速する中、国際社会においてリーダーシップとプレゼンスを発揮し、多様な人材が求められる中で、

- 特定の国が所有しない宇宙空間の環境の保全などを目指した総合的な研究（宇宙工学に加え、環境工学、人文・社会科学等を含む）を推進し、我が国が国際協力をリードするという観点
- 地球規模課題解決のための国際的な共通言語であるSDGsの達成に向けた宇宙技術活用を国際宇宙協力¹⁴のノウハウを活かして推進するという観点

¹² 国際宇宙ステーション（ISS）の「きぼう」日本実験棟

¹³ 国立研究開発法人等に重複して設置することが多額の経費を要するため適当でないと認められる大規模な研究施設であって、先端的な科学技術の分野において比類のない性能を有し、科学技術の広範な分野における多様な研究等に活用されることにより、その価値が最大限に発揮されるもの

¹⁴ 例えば、現行の「国際宇宙基地協力協定（IGA）（1998年署名）」に基づく協力など

＜別紙＞宇宙と地上の相互活用により更なる発展が期待できる技術例

今後、宇宙適用を想定した技術開発や宇宙分野の知見活用等により革新が期待できる地上の技術や、地上の技術の適用により発展可能な宇宙技術は、以下の通りと考えられる。

なお、これらの技術開発を進める際には、厳しい社会経済情勢や財政状況の中、限られた資源・財源で研究開発を行わなければならない実情を踏まえ、我が国として戦略を持って進める必要があり、加えて、当初予想されなかった革新的技術が現れることにも留意し、機動的な対応も必要と考えられる。

1. 宇宙と地上をつなぐ宇宙輸送技術（ロケット）

（ア）共通技術

- ① IoT センサ等を活用した打上げ・運用データのフィードバックによる設計改良技術
- ② 先端技術（3D プリンタ、スーパーコンピュータ、ロボティクス等）を活用した製造技術
- ③ 電力・通信等システム小型効率化・低消費電力化のための先端部品技術、ワイヤレス技術、MEMS 技術
- ④ 従来のドメイン知識に加えて、AI（特に機械学習）等を活用した故障診断技術、デジタルツイン技術

（イ）宇宙輸送機（ロケット）技術【ハード輸送】

- ① 射場整備、自律飛行制御等の運用効率化につながる AI（特に、データマイニングや機械学習）技術
- ② エンジン電動化（電動ポンプ等）のための EV 技術等のモータ技術、2 次電池、駆動力制御システム等の技術
- ③ 地上の水素ステーション等における液体水素の輸送・貯蔵技術に貢献する宇宙用液体水素技術

（ウ）宇宙通信技術【ソフト輸送】

- ① AI（特に最適化アルゴリズム）等を活用した複数衛星の運用自動化・省力化技術

2. 地球規模課題解決に貢献する衛星技術

(ア) 共通技術

- ① 光通信、ライダー、測距用レーザ等向けの宇宙用レーザ・光増幅器技術
- ② 衛星通信や合成開口レーダ、マイクロ波放射計観測向けの大型アンテナ展開技術
- ③ 従来のドメイン知識に加え、AI（機械学習、時系列データ解析）等を活用した電力・姿勢制御・軸受等の長寿命化技術
- ④ テラヘルツ高周波利用技術（通信、センサ等）
- ⑤ 小型・超小型衛星の量産開発を見据えたデジタルツイン技術
- ⑥ 軽量・低コスト・超寿命の太陽電池パネル、バッテリー技術
- ⑦ 地上での宇宙線対応等に貢献する電子部品・機器などの耐放射線技術

(イ) 地球観測衛星（リモセン）技術

- ① 大型光学システム、高分解能イメージセンサ技術、補償光学技術を活用した静止観測技術の高度化
- ② AI（特に機械学習）等を活用したオンボードデータ処理技術
- ③ 観測衛星と地上センサ・データプラットフォーム・数値モデル等を活用・統合した統合ソリューション開発手法

(ウ) 通信衛星技術

- ① 量子通信技術の今後の高度化を見据えた衛星バス技術
- ② 地上の5Gネットワークとシームレスにつながる高速、大容量、多地点接続、高信頼性かつフレキシブルな衛星通信技術（小型化・高性能化、宇宙通信IP化対応技術等）及び先端部品技術
- ③ 地上技術と相互発展する小型・高性能アンテナ・増幅器等の通信技術

(エ) 測位衛星技術

- ① 地上の測位サービスの高信頼性・高精度化のための精密原子時計技術や誤差補正技術
- ② 地上の測位信号利用の脆弱性リスク対応のアンチスプーフィング技術

3. 宇宙環境を保全する技術

(ア) 宇宙状況把握（SSA）技術

- ① AI（機械学習、エミュレータ）等を活用した光学望遠鏡画像解析や衛星位置同定技術

(イ) スペースデブリ対策（除去・発生抑制）を含む軌道上サービス技術

- ① 3Dプリンタ等による大型構造物の宇宙空間における製造技術
- ② 地上のロボティクス技術等と相互発展する大型スペースデブリ除去技術や発生を抑制する宇宙空間における衛星修理・燃料補給技術

4. 人類の知的資産を創出する宇宙科学・探査

(ア) 宇宙科学に関する技術

- ① 低熱膨張セラミック材や CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) 等の材料技術・鏡面形成技術による軽量光学系技術
- ② 地上の半導体プロセス技術を活用した高感度検出器技術
- ③ 超伝導技術の活用により地上の冷凍技術と相互発展する宇宙用冷凍機

(イ) 宇宙探査に関する技術

- ① AI (特に、機械学習による画像認識・解析、軌道・経路と電力等の管理最適化) 等を活用した自律航行技術
- ② 地上ロボティクス技術を活用した天体表面・惑星上移動技術
- ③ 半永久的に使えるエネルギー等を利用した自律的な発電技術
- ④ プラズマプロセス技術を応用した電気推進技術
- ⑤ 高効率水素液化・断熱技術を活用した軌道間輸送システム (推進薬貯蔵)
- ⑥ 地上の省電力化に貢献する IoT (Internet of Things) 技術を活用した低消費電力探査技術

5. 持続的な月探査等の国際宇宙探査の実現に必要な技術

(ア) 重力天体離着陸技術

- ① 地上の AI 等を活用した離着陸誘導制御技術 (特に、機械学習による画像認識・解析、軌道・経路・推進系の管理最適化)
- ② 地上の自動車・航空機などの衝撃吸収技術と相互発展する着陸技術

(イ) 重力天体表面探査技術

- ① 地上の自動運転技術や電気自動車 (耐摩耗回転機構やバッテリー・燃料電池等) の技術を活用した無人探査ローバ技術
- ② 地上の建設機械技術を活用した重力天体における掘削技術
- ③ 地上のクリーンエネルギー技術を活用した日陰や夜間の極低温環境での機器の越夜のための技術

(ウ) 有人宇宙滞在技術

- ① 地上の環境浄化技術と相互発展する環境制御技術
- ② 地上の高齢者医療や国民の健康向上にも貢献しうる、骨・筋減少、免疫低下等対策技術を含めた宇宙飛行士の健康管理技術
- ③ 地上の遠隔操作ロボット技術等を活用した宇宙飛行士を支援するロボット技術

(エ) 深宇宙補給技術

- ① 地上の自動運転技術等と相互発展する画像センサ技術や、深宇宙航法機能や耐放射線対策を含めた深宇宙向けのランデブ・ドッキング技術
- ② 打上げ回数を低減する、軌道上宇宙機の再利用を目指した燃料補給技術