

# 有人宇宙活動について

平成22年1月27日

長谷川 義幸  
(独立行政法人宇宙航空研究開発機構)

# 内容

1. 有人宇宙活動の歴史（世界と日本）
2. 日本の技術の蓄積、諸外国との比較
3. 有人に関する諸外国の動向

# 1. 有人宇宙活動の歴史(世界と日本)

## 有人宇宙活動とその時代背景

### ■ 有人宇宙飛行黎明期: 米ソ競争の時代(1960 - 1970)

米・ソ冷戦を背景として、軍事的優位性と国家威信をかけて、米・ソが有人飛行を競い合った。この時期前半は、有人初飛行、初宇宙遊泳などことごとくソ連が先手を取ったが、月着陸競争でアポロ計画により米国が初めてソ連を追い抜いた。

### ■ ミールとスペースシャトル(1970 - 1980)

1970年以降、冷戦の緊張緩和が進むにつれ有人宇宙開発での米・ソ競争も衰退し、米国は巨額のアポロ計画を中断した。ソ連も有人月面着陸を断念し、地球低軌道での宇宙ステーション(サリュート→ミール)に専念するようになる。米国も宇宙実験室(スカイラブ)を打上げて暫く運用するも、宇宙開発予算の削減を目指して再使用可能なスペースシャトル開発に乗り出す。

### ■ 国際宇宙ステーション(ISS)の時代(1980 - )

米国は、開発したスペースシャトルを利用するとともに、1980年代に入って再び政治緊張が高まってきたソ連への対抗から西側諸国に国際宇宙ステーション(ISS)計画を提案し、これに欧州、日本、カナダが参加することとなった。しかし、1988年の旧ソ連の崩壊後は、自由主義経済へのロシア加盟、ロシアの有人技術の活用などの観点から、1995年ロシアはISSに参加することとなった。これにより有人宇宙開発での国際協力が本格化することとなった。

### ■ 中国の台頭、民間有人飛行の萌芽(2000 - )

中国は2003年に有人初飛行を達成し、世界で3番目の有人飛行達成国となった。「国家独自の科学技術力の向上」が公式な目的であるが、国威発揚的な要素も大きいと推測されている。一方で、米国等では有人宇宙技術の民間への移転が進み、次々に有人宇宙飛行を目指す企業が出現している。

### ■ 有人月・惑星探査の時代(2020 - )

2004年1月に米国は新宇宙政策を発表し、有人月面探査の再開と将来的な火星への有人飛行実現を目指すとした。これは、世界の宇宙開発のリーダーシップ維持、ISSに続く大型有人プログラムによる技術力の維持、宇宙開発産業の維持発展などが背景にあると言われている。一方、欧州では、2000年のEU会合で採択されたリスボン戦略(欧州を世界で最もダイナミックな知識社会にする)に則り、最終的に有人火星探査を目指すオーロラプログラムが開始された。

# 1. 有人宇宙活動の歴史(世界と日本)

## 日本の有人宇宙活動の流れ

### シャトルミッションを通じた有人宇宙活動(1978-)

- ロケット・衛星の開発・運用等で培った技術を基盤に開始
- 短期ミッション(1~2週間)
  - 生命科学、材料科学、放射線計測等の実験
  - きぼうロボットアーム部分モデルの技術実証
- 日本人宇宙飛行士搭乗、宇宙活動

(c)NASA



ロボットアーム技術実証(1997)



第1次材料実験(1992)

### ISS開発・運用を通じた有人宇宙活動(1989-)

- シャトルミッションで培った技術を応用
- 有人宇宙実験施設(きぼう)の開発、運用
- 日本人宇宙飛行士のISS組立て、長期宇宙滞在(数ヶ月~半年)
- 物資補給機(HTV)の開発、打上げ、運用
- 国際水準の有人宇宙技術基盤(\*1)の構築



(\*1)基盤的なもののみであり全てではない

### ISS利用により期待される成果(2008-)

- 無重力で骨量減少・筋機能低下が加速することを利用した研究による高齢者生活改善
- 対流がない無重力で可能となる高品質なタンパク質生成を活用した創薬技術の発展
- 生物の重力の有無に対する生体反応比較による地上の生命進化の仕組み解明促進
- 対流や重力がある地上では技術実証が難しい空気再生・水再生など有人宇宙技術開発
- 宇宙授業など日本人飛行士の活動を通じた一般市民の科学技術への理解・啓蒙促進

(c)NASA



ISSでの医学実験

## 2. 日本の技術の蓄積、諸外国との比較

### 各国の宇宙技術の現状

(2009年12月現在)

|    |                  | 米国                | ロシア          | 欧州                  | カナダ            | 日本                  | 中国         | インド       |
|----|------------------|-------------------|--------------|---------------------|----------------|---------------------|------------|-----------|
| 無人 | 無人ロケット(静止軌道への輸送) | ◎                 | ◎            | ◎                   | —              | ◎                   | ◎          | ◎         |
|    | 無人探査機(月・惑星等への着陸) | ◎<br>月、火星         | ◎<br>月、火星、金星 | △                   | —              | ◎<br>小惑星<br>(イトカワ)  | △          | △         |
|    | 無人宇宙船            | ◎<br>アポロ試験機等      | ◎<br>プログレス等  | ◎<br>ATV等           | —              | ◎<br>HTV等           | ◎<br>神舟試験機 | △         |
| 有人 | 有人往還システム         | 有人ロケット<br>(民間も着手) | ◎            | △                   | —              | —                   | ◎          | △         |
|    |                  | 有人宇宙船<br>(民間も着手)  | ◎            | ◎                   | △              | —                   | ◎          | △<br>(注3) |
|    | 長期有人滞在システム       | ◎<br>(民間も着手)      | ◎            | ○<br>ISSの一部<br>(注4) | —<br>(ロボットアーム) | ○<br>ISSの一部<br>(注4) | △          | —         |
|    | 低軌道を越える有人探査システム  | ◎<br>月(アポロ計画)     | —            | —                   | —              | —                   | △          | —         |

|                 |             |             |             |           |               |          |         |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-----------|---------------|----------|---------|
| 宇宙飛行士の低軌道での滞在実績 | ◎<br>約1万3千日 | ◎<br>約1万9千日 | ◎<br>約1700日 | ◎<br>357日 | ◎<br>271日(注1) | ◎<br>19日 | ◎<br>8日 |
| 宇宙飛行士の月での滞在実績   | ◎<br>13日    | —           | —           | —         | —             | —        | —       |

(注1) 我が国の宇宙滞在日数は、単独の国としては米、ロ、仏、独、加について世界第6位

(注2) 研究開発に取り組んでいるもの

(注3) インドは、ロシアの有人技術を導入する計画

(注4) 日・欧は実験棟のみで、電源、排熱、空気再生などのインフラは米・ロ施設に依存

|   |          |
|---|----------|
| ◎ | 実績あり     |
| ○ | 一部実績あり   |
| △ | 計画あり(注2) |
| — | 実績、計画なし  |

### 3. 有人に関する諸外国の動向

主要国の有人宇宙活動、月探査等に係わる計画・構想一覧  
(2009年12月現在)(報道等による情報も含む)

|         | 2000年代後半   | 2010年代  | 2020年代  | 2030年代  |
|---------|--|---|---|---|
| 月探査     | かぐや(周回)<br>嫦娥(周回)<br>印  チャンドラヤーン(周回)<br>LRO/LCROSS(衝突) | (着陸)<br>(*) (周回)  (*) (着陸)  (*) (サンプルリターン)<br>(着陸)<br>(周回)<br>(周回)  (着陸)<br>欧  (着陸) | (探査拠点構築)  (拠点活用探査、サンプルリターン)<br><div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;">           ① {  (着陸) }<br/>           ② {  (月周回)  (小惑星接近)  (火星周回) }         </div> (サンプルリターン) | (人とロボットの連携による着陸探査)<br>(*) (着陸)  |
| 火星探査    | Phoenix(着陸)  | (着陸)  (周回)  欧  (周回/着陸)  (周回/着陸)<br>(衛星に接近)<br>印  (*) (周回)  (着陸)                     | (着陸)  (月に着陸 or 火星の衛星に接近)<br>(着陸)  (着陸)<br>(着陸)  | (着陸)  |
| 低軌道有人活動 | (国際宇宙ステーション)<br>スペースシャトル<br>ソユース<br>神舟6号 神舟7号 (有人宇宙飛行) | (新型宇宙船)<br>(*) (新型宇宙船)<br>(*) (軌道上基地建設)<br>印 (有人宇宙飛行)                               | (*) (軌道上基地建設)<br>欧 (有人宇宙飛行)   | <p>青字は無人事業<br/>黄地に赤字は有人ミッション</p> <ul style="list-style-type: none"> <li> 日本</li> <li> アメリカ</li> <li> ロシア</li> <li> 欧州(ESA)</li> <li> 中国</li> <li> インド</li> <li> カナダ</li> </ul> <p>(*)は非公式報道情報</p> |

米国では有人計画見直し中。①は月探査を優先する案、②は月周回、地球近傍小惑星接近、火星周回、火星の衛星に接近などの弾力的な探査を優先する案。有人火星探査へ繋げる。

# 参考

# 有人宇宙活動の概略史(1/2)

(2009年12月現在)

## ■有人宇宙飛行黎明期:米ソ競争の時代

## ■小型宇宙ステーション ■シャトルとミール

ソ連・ロシア

ボストーク宇宙船



人類初宇宙飛行  
ガガーリン  
(1961.4.12)

ボスホート宇宙船



(c)NASA  
人類初の宇宙遊泳  
レオーノフ  
(1965.3.18)

ソユーズ宇宙船



(c)NASA  
改良を続けながら現  
在も飛行を続ける  
(現在まで108回飛行)  
(1967~)

サリュート  
(小型宇宙ステーション)



(1971~86運用)

ミール  
(中型宇宙ステーション)



(c)NASA  
(1986~2001運用)

年: 1961

1965

1969

1971 1973

1981 1986

アメリカ

マーキュリー宇宙船

米国初宇宙有人飛行  
シェパード  
(1961.5.5)

米国初地球周回飛行  
グレン  
(1962.2.20)

ジェミニ宇宙船

ホワイトによる  
米国初の宇宙遊泳  
(1965.6.3)

・宇宙での軌道変更、  
ランデブー、ドッキング、  
船外活動実施

アポロ宇宙船

(c)NASA



人類初月面着陸  
アームストロング  
他

スカイラブ  
(小型宇宙ステーション)



(1973~74運用)

スペースシャトル

・STS-1  
(1981.4.12)

・運用中。  
現在まで129回飛行 (c)NASA



・毛利衛  
日本人初スペース  
シャトル搭乗  
(1992)

# 有人宇宙活動の概略史(2/2)

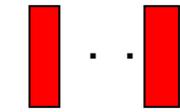
(2009年12月現在)

## ■国際宇宙ステーション(ISS)の時代

(c)NASA



組立開始  
(1998.11.20)



シャトル事故による組立て中断



(c)NASA

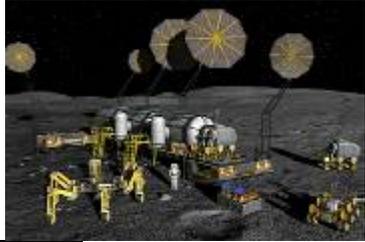


ISS完成(2010)

(c)NASA

オリオン初飛行  
(2018頃)

## ■有人月・惑星探査の時代へ



米国の有人月基地計画  
(見直し中)

(c)NASA



(c)NASA

有人火星探査  
(欧米で検討中)



(c)NASA

年: 1998 2005 2010 2020 2030

## ■中国の台頭

神舟5号打上げ(2003)  
世界3番目の有人飛行



## ■民間有人飛行



# 国際宇宙ステーション(ISS)計画とは(1/2)

ISSの目的：宇宙空間の科学的、技術的及び商業的利用を促進

- 科学的探究・応用・技術開発のための宇宙の実験室
- 地球や宇宙の常設観測施設
- 将来の月面基地、火星有人ミッション、惑星ロボット探査等のためのテストベッド
- 宇宙の商業利用を促進する研究施設

(政府間協定・了解覚書)

## 経緯

1984年：ロンドンサミットでレーガン米大統領が提唱し、西側先進国に参加を働きかけ



1989年：ISS計画日本参加に関する政府間協定を国会で承認し、批准

1993年：ロシアも宇宙ステーション計画へ参加。  
1998年：ロシア参加の新ISS計画に関する政府間協定を国会で承認し、批准

1998年から、軌道上の組立て開始、2000年から宇宙飛行士が常時滞在。  
現在：15の先進国による国際協力プロジェクトとして推進。2010年の完成を目指す。

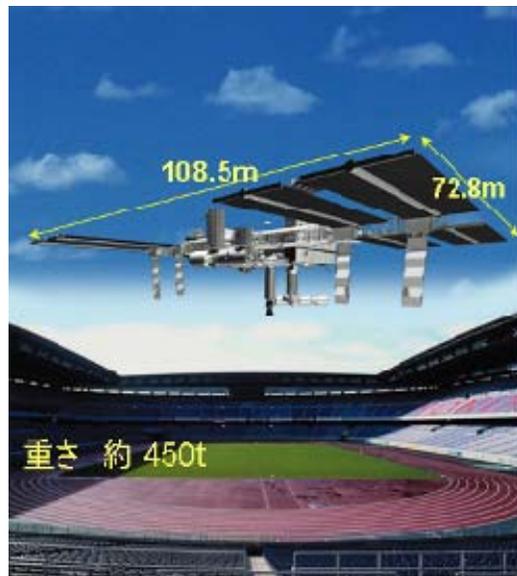
※ 政府間協定及び了解覚書にて、宇宙基地協力の実施責任を有する協力機関として文部科学省が指定され、JAXAは、文部科学省を援助することとされている。

# 国際宇宙ステーション(ISS)計画とは(2/2)

## ● 人類史上初の大規模有人宇宙施設を地球低軌道上に建設、運用

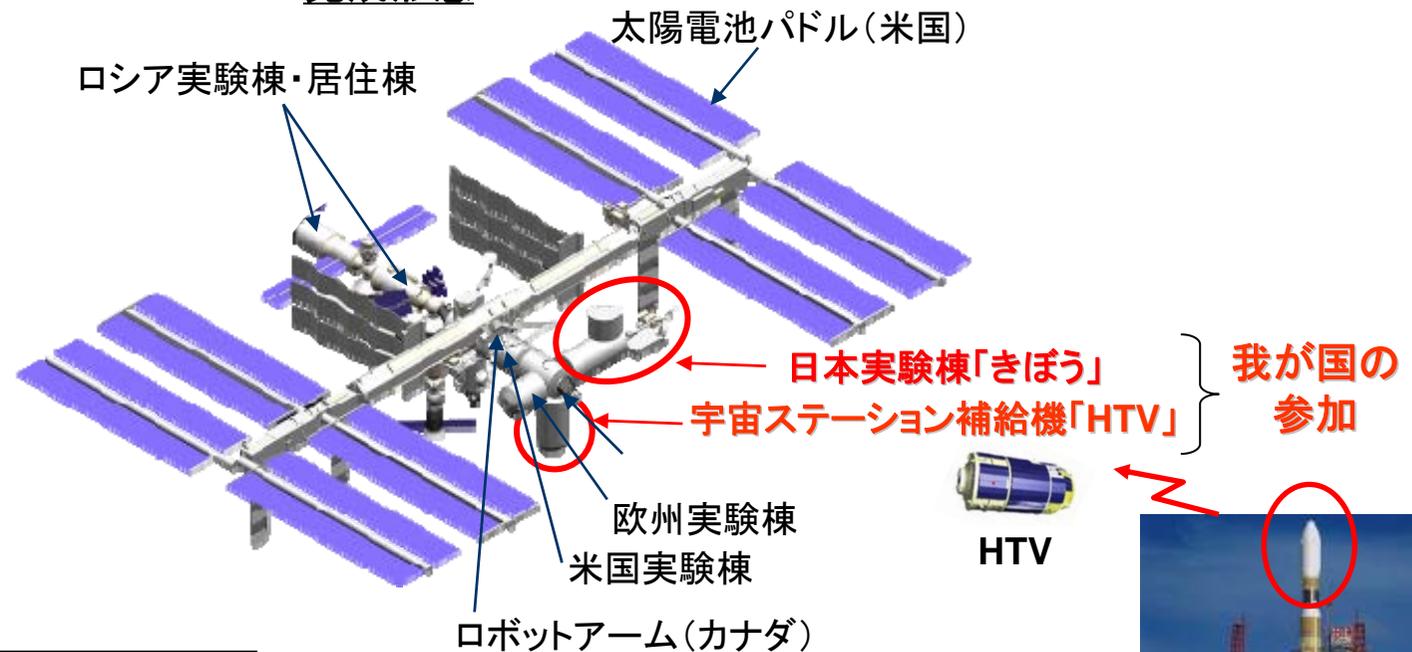
宇宙基地に係る政府間協定(IGA)に基づき、各国がそれぞれの施設を開発・運用することで参加。

ISS完成時(2010年)



- 大きさ: 110m × 73m (サッカー場と同じくらい)
- 重さ: 約450トン (ジャンボジェット機の1.2倍)
- 船内の広さ: 約935m<sup>3</sup> (ジャンボジェット機の1.5倍)
- 軌道: 地上から400km上空
- 速度: 秒速約8km

完成形態



H-IIIBロケットによる  
HTV打上げ



## 日本がISS計画を通じて得た有人宇宙技術基盤

「きぼう」やHTVの開発、運用、宇宙飛行士の活動を通じて、有人宇宙技術のうち下記に示す基盤的技術やその一部を獲得

### A) 有人安全・信頼性技術

- 故障や操作ミスがあっても有人安全を確保する設計、試験技術(きぼう, HTV)
- 信頼性をより厳密に管理する技術(部品・工程管理、検証、保全など)(きぼう, HTV)
- 異常時の原因分析、対応手順作成など有人システムを安全に運用するための技術(きぼう, HTV)

### B) 有人システムを統合する技術

- 複雑かつ大規模な有人システムを最適に統合しつつ開発する技術(きぼう, HTV)

### C) 長期有人滞在技術

- 無重力での空気循環／温湿度制御技術(きぼう)
- 宇宙飛行士が無重力状態や宇宙服着用状態で操作が可能な部品設計技術(きぼう, HTV)
- 無重力で大型構造物を操作可能かつ有人安全を考慮したロボット技術(きぼう)

### D) 有人往還技術

- 有人施設へのランデブー技術、地上に被害を与えないように確実に再突入する技術(HTV)

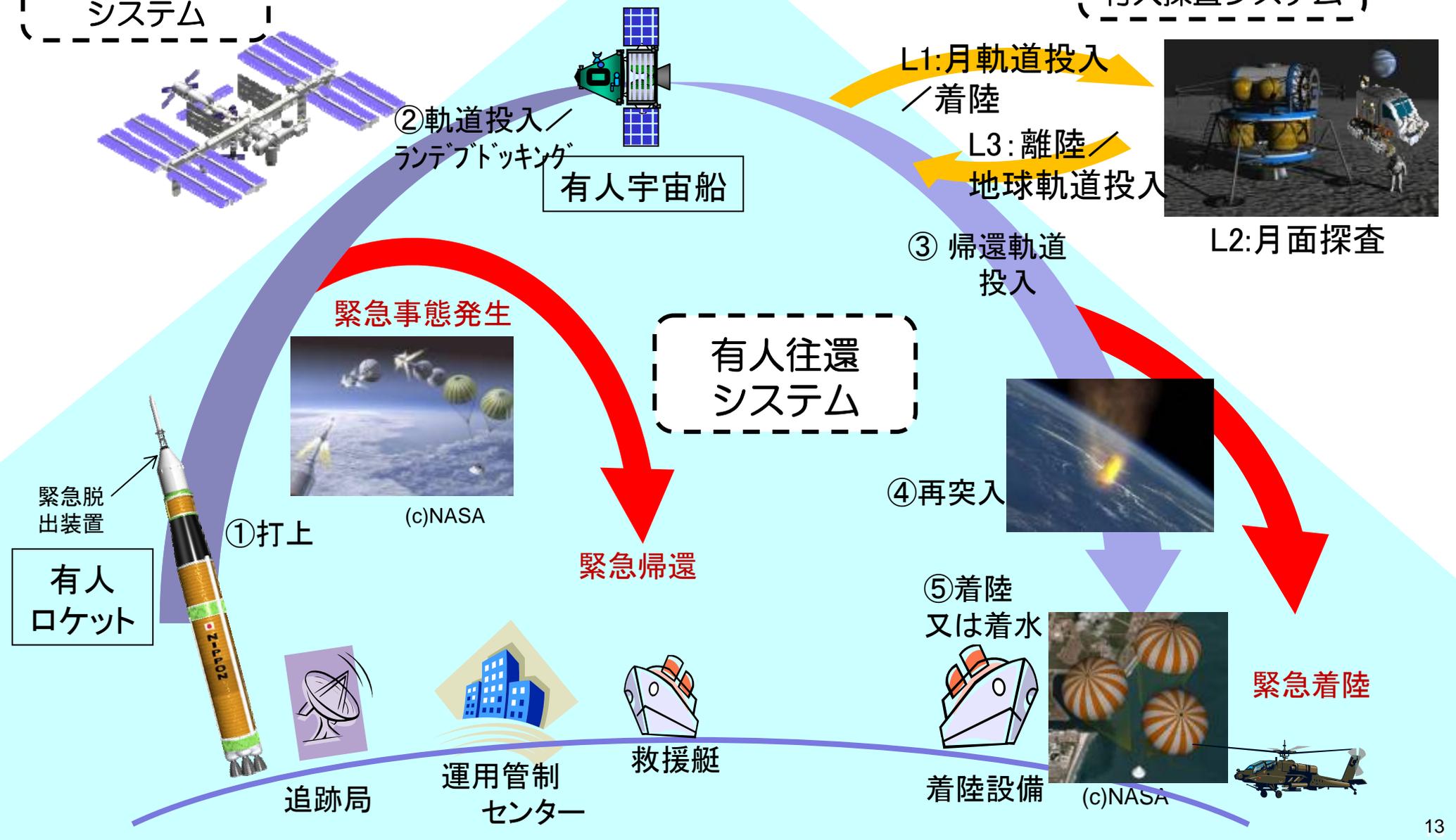
### E) 有人宇宙開発を支える人材育成

- 宇宙飛行士を選抜し、訓練する技術。NASA飛行士の指導を行うまでのレベルに達している。(きぼう)
- 国際交渉力を持つ人材や有人宇宙の国際標準で仕事ができるエンジニアの育成(きぼう, HTV)

# 有人宇宙活動の概要と必要なシステム

長期有人滞在システム

低軌道を越える有人探査システム



# 有人ロケットの例と必要な技術、及び保有状況

- 日本の無人ロケットは、既に世界水準の高信頼性と一般市民への安全性を獲得している。
- 有人ロケットでは、新たに乗員を爆発や墜落等の事故から安全に保護する技術が必要。

## ①エンジン等の安全化技術:

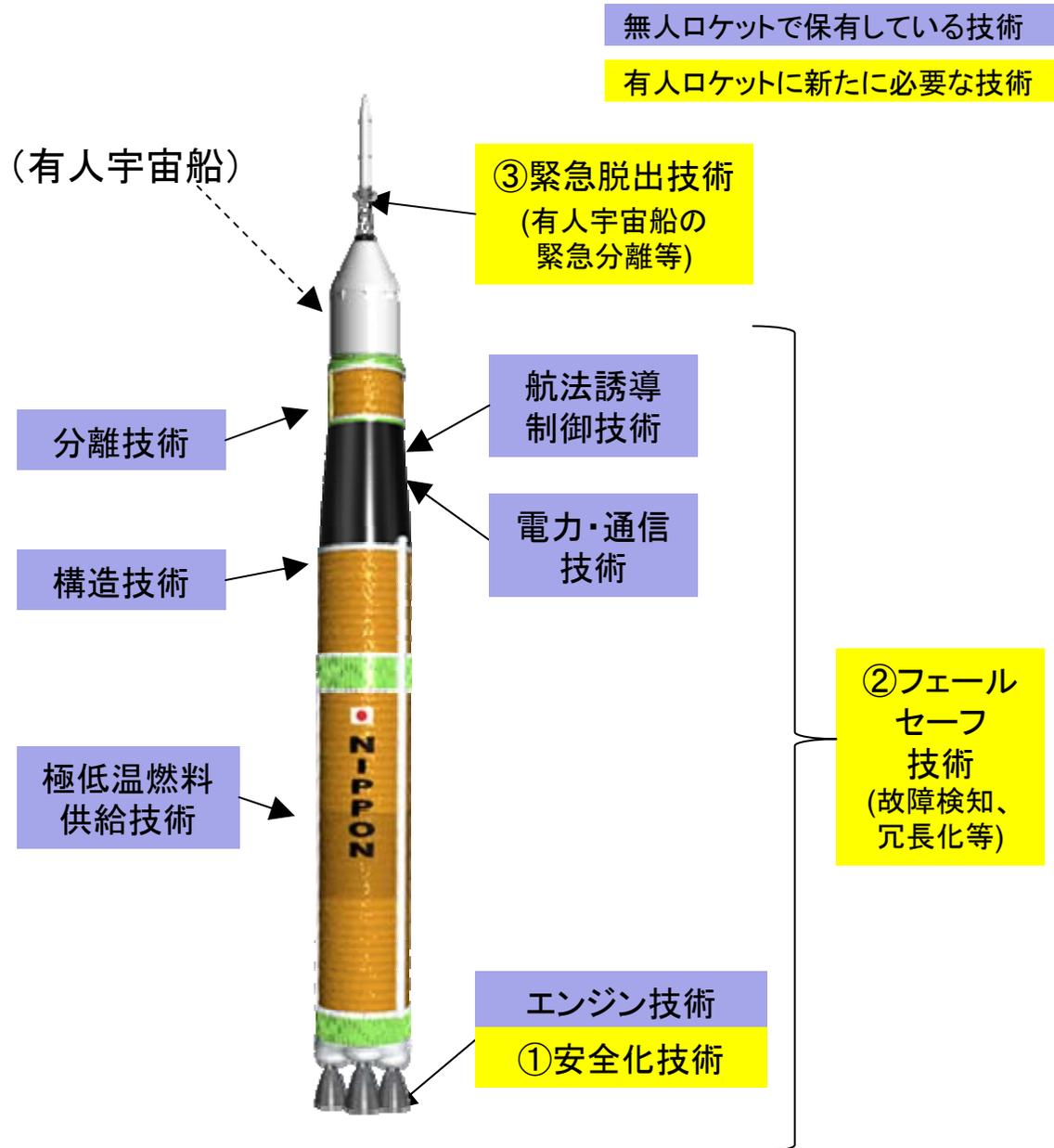
ロケットの重大故障の主要因であるエンジン等について爆発に至る要因を徹底的に排除し、異常時にも安全に停止できるようにする技術。

## ②フェールセーフ技術:

例え故障や異常が発生してもそれを検知して事故に至らないよう影響を遮断できるシステム技術。

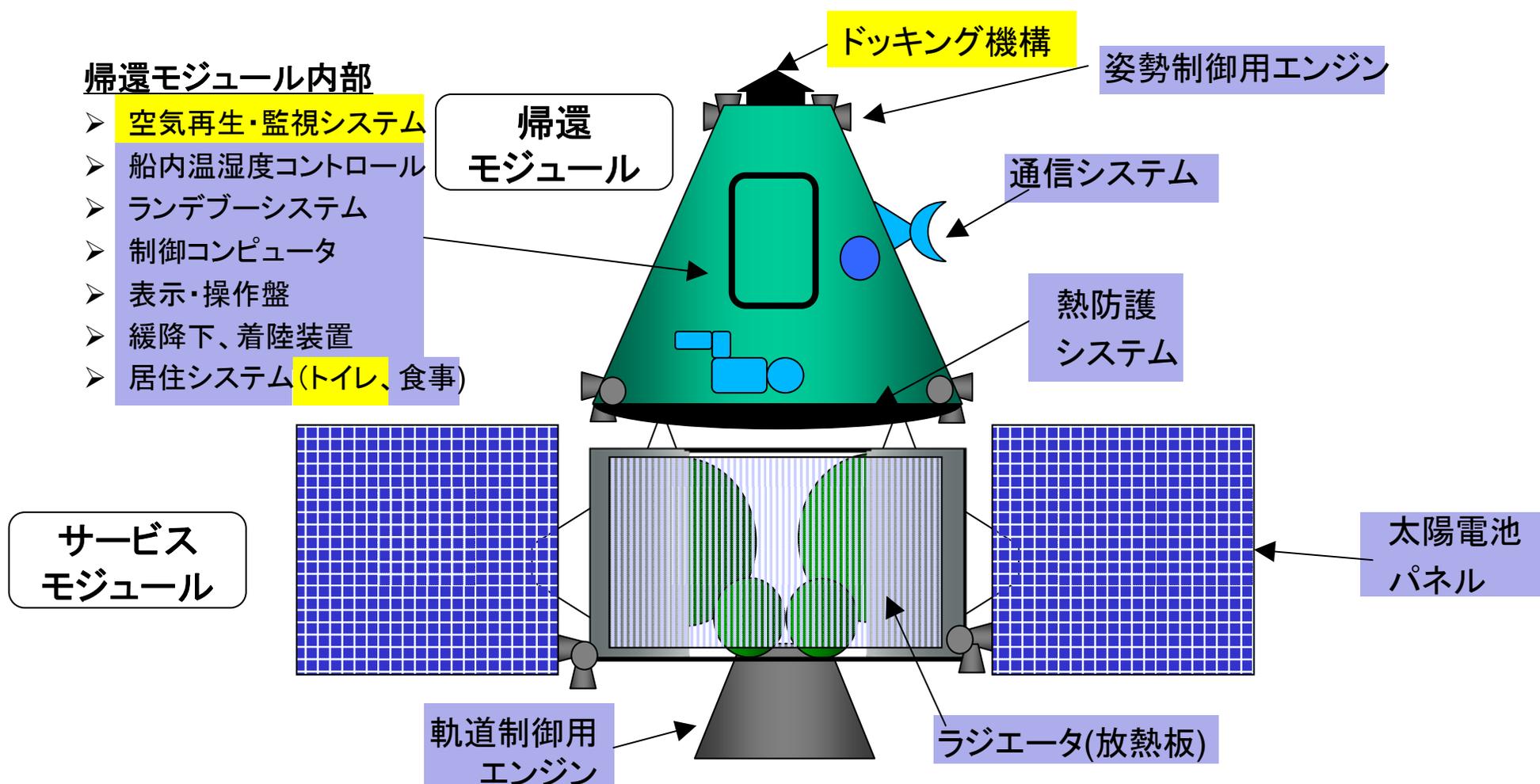
## ③緊急脱出技術:

さらに万一の重大故障発生に対して乗員を脱出させるシステム技術



# 有人宇宙船の例と必要な技術、及び保有状況

- 有人システムをインテグレーションする技術、有人安全技術などはISS計画で基盤的な技術は獲得している。
- 下記に示す個々の技術に関してもきぼう、HTVやこれまでの無人宇宙実験機などで技術のベースはある(■ 部分)と考えられるが、一部(生命維持システムやドッキング機構(■ 部分)など)は基礎的な研究開発から必要。



# 長期有人滞在システムに必要な技術と保有状況

- 有人システム統合技術、有人安全・信頼性技術など基盤的な技術はきぼうなどを通じて保有できている。
- 個々の技術に関しても一部は獲得できていないが、きぼうやこれまでの無人宇宙機などで技術のベースはあるものが多い。

## 有人滞在技術

- 空気循環
- 温湿度制御
- 空気再生、監視
- 水再生
- 衛生(トイレ、シャワー等)
- 宇宙への大量排熱
- 電源技術
- 通信技術

## 有人活動支援技術

- 支援ロボット
- エアロック
- 宇宙服

## 搭乗員関連技術



(c)NASA

## 有人システム 運用管制技術



## 有人システム基盤技術

有人システム  
統合技術

有人安全・信  
頼性技術

きぼう等で保有した技術  
(一部不完全なもの有り)

きぼうでも保有できなかった技術

# 低軌道を越える有人探査システムに必要な技術と保有状況

- 低軌道を越える有人探査システムに必要な個々の技術については、一部を除き保有できていないものが多い。ただし、ISS計画で得られた有人システム統合や安全技術は応用可能。また、無人月探査で蓄積される技術も応用できるものがある。

## □ 月着陸船

搭乗員を安全に月面に着陸させ、また離陸させる。与圧キャビンがあり、空気循環、温湿度制御、空気再生などの有人滞在技術が必要。また、有人宇宙船とのドッキング機構や月面に出て行くためのエアロックなども必要。今後の無人月着陸探査で得られる着陸技術は応用可能。

## □ 軌道間輸送機

地球低軌道から月周辺まで有人宇宙船などを輸送する。大型のエンジンやドッキング機構が必要。HTVで得たランデブー技術は応用可能。

## □ 有人ローバ

着陸地点から広範囲に移動／探査するための移動用車両。大型走行機構、大電力システム技術、ナビゲーション技術など多種の技術が統合される。与圧ローバでは与圧キャビンがあり、空気循環／温湿度制御（これらはきぼうの技術を応用可能）、空気再生などの有人滞在技術が必要。今後の無人月着陸探査で得られる移動技術は応用可能。

## □ 有人支援ロボット

飛行士に代わって極限環境で探査したり、長時間作業を行うロボット。効率的な移動技術が共通的に必要。他の技術についてはミッションによる。きぼうで得た有人対応ロボット技術や今後の無人月着陸探査で得られる月面でのロボット技術は応用可能。

## □ 探査用宇宙服

気圧確保、可動性、温湿度制御性を同時に確保する生地素材、それを縫製する技術、軽量コンパクトな電源／生命維持装置技術、耐レゴリス対策技術など必要。

## □ 資源利用システム

月の砂から酸素や水などを生成するシステム、酸化鉄などを分解するために大電力や触媒技術が必要。



月着陸船



有人ローバ



軌道間輸送機



有人支援  
ロボット



探査用宇宙服



資源  
利用システム

©NASA

# 主要国の有人宇宙活動に関する計画・構想

(2009年12月現在)(報道等による情報も含む)

## ○ 米国(NASA 米国航空宇宙局):

ブッシュ政権では、新しい有人宇宙船の開発、有人での月再着陸、有人火星探査等を目標とする宇宙探査構想に基づく計画が進んでいた。オバマ政権では、探査構想の中核をなすNASAの有人宇宙飛行計画について「米国有有人宇宙飛行計画再検討委員会(Review of U.S. Human Space Flight Plans Committee)」を設置し、再検討を行った。スペースシャトル引退後の安全で革新的かつ適正な予算で持続可能な、有人宇宙飛行計画に関する選択肢等について検討し、2009年9月にサマリーレポートが、その後10月22日に最終報告書が公開された。また、スペースシャトル引退後のISSへのクルー輸送手段としての民間輸送システム開発を支援している。

## ○ 欧州(ESA 欧州宇宙機関):

- 2030年頃の有人火星探査を最終目的とした「オーロラプログラム」の前段として、月への有人月探査の検討を行っている。
- 有人月探査に関しては、将来の有人宇宙飛行及び探査における欧州の役割を分析するためのシナリオ検討等が行われており、国際宇宙探査協働グループ(ISECG)の枠組みにおいて積極的に活動中。また、NASAとの協力に向けた2国間の話し合いも進めている。
- 有人宇宙輸送に関してはロシアとの協力を進めていたが、近年独自路線に転換し、システム検討を実施中である。

## ○ 中国(CNSA 中国国家航天局):

- 神舟宇宙船により、2003年以降3回の有人宇宙飛行(低軌道)を実施した。
- 独自の宇宙ステーション(天宮)を2010年代に建設する計画あり。
- 2030年に中国初の有人月探査、2040年に有人の月面短期滞在、2050年に有人火星探査を計画中。

## ○ インド(ISRO インド宇宙研究機関):

- ロシアとの協力により宇宙飛行士3名が搭乗可能な地球低軌道用の有人宇宙船の開発を計画している。(ソユーズ技術の導入による)

## ○ ロシア(ROSCOSMOS ロシア連邦宇宙局):

- 有人月探査、火星探査については正式な計画はない模様。
- 一方で、国際宇宙ステーション計画の続行を強く要望しており、また、ポストISSの独自宇宙ステーションも検討しているとされる。
- また、ソユーズに替わる新型有人宇宙船開発と打上げ基地の国内整備(注)を計画中。

(注) 現在、有人ロケットを打ち上げているバイコヌール宇宙基地はカザフスタン領内