

米国の新興宇宙企業を 猛追する中国の宇宙開発

令和3年2月19日

科学技術振興機構第140回中国研究会

元JAXA国際部参事

辻野照久

講 師 紹 介

【辻野 照久】

元 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 国際部参事

【略 歴】

昭和48年 東北大学工学部電気工学科卒業

同年 日本国有鉄道(JNR)入社

昭和61年 宇宙開発事業団(NASDA)入社

平成 8年 (財)日本宇宙フォーラム 調査研究部次長・主任研究員

平成16年 文部科学省科学技術政策研究所(NISTEP) 特別研究員

平成19年 宇宙航空研究開発機構(JAXA) 国際部参事

平成23年 定年退職

平成28年 再雇用終了

【主な講演および発表】

平成16年 7月 NISTEP 「急速に発展する中国の宇宙開発」

平成18年 4月 NISTEP 「中国における技術予測」

平成22年 1月 JST 第30回CRCC中国研究会「中国の宇宙開発について」

平成25年 1月 NISTEP 「自動運転自動車の研究開発動向」

平成27年 9月 JST 第85回CRCC中国研究会「中国の宇宙開発動向 2015」

平成29年 3月 JST 第102回中国研究会「飛躍的発展段階に入った中国の宇宙開発」

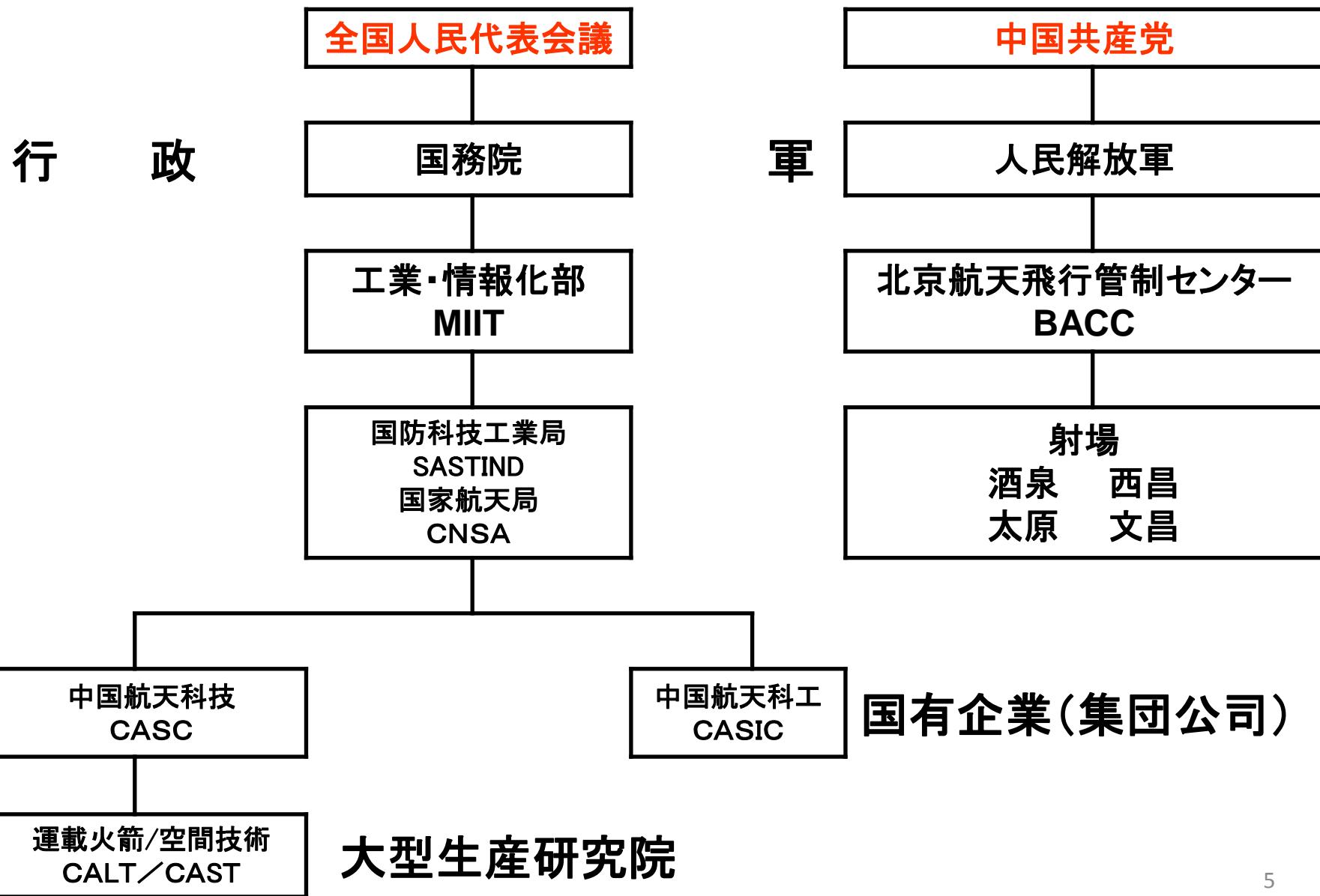
はじめに

- ・ 中国の宇宙開発は長征5型ロケットにより火星探査機「天問1号」の打上げや月探査機「嫦娥5号」によるサンプルリターンに成功し、着実に実績を積み重ねている。
- ・ 一方、米国では新興宇宙企業の「スペースX」社が再使用型打上げロケットをフル活用し、年間840機近い自社の通信衛星を打ち上げただけでなく、国際協力で月探査を行う米国主導のアルテミス計画でも主要なプレイヤーになりつつある。
- ・ 中国は3年連続で打上げ回数が世界最多となつたが、スペースX社に対しては再使用型ロケット開発や有人月探査などでこれから猛追していく立場にある。
- ・ 2049年までの中国の宇宙開発活動の展開を予測する。

1. 「両弾一星」から「小康社会」へ

- 中国は1950年代から「**両弾一星**」(核爆弾・ミサイル(導弾)及び人工衛星)という国威発揚のスローガンの下で宇宙開発を開始し、**1970年4月**、旧ソ連(1957)・米国(1968)・フランス(1964)・日本(1970年2月)に次いで世界で5番目となる自力での人工衛星の打上げに成功した。
- 近年は宇宙開発が国家経済の発展や国民生活の向上など実利面でも役立ち、総合的な国力を高める重要な手段であると認識して、2020年までに「**小康社会**」を実現することを新たな国威発揚の目標とした。2020年11月、小康社会が予定通りほぼ達成されたとして、今後は**2025年まで**に全面的に小康社会の実現を目指すという方針を発表した。

中国宇宙開発の中心的な組織



2大国有企业の傘下組織

中国航天科技集团公司 (CASC)

中国航天科工集团公司 (CASIC)

○は衛星打上げ実績あり

<大型生産・研究院>

- 中国運載火箭技術研究院(CALT、航天一院)
 - 航天動力技術研究院(AASPT、航天四院)
- 中国空間技術研究院(CAST、航天五院)
 - 航天推進技術研究院(AALPT、航天六院)
 - 四川航天技術研究院(SCAIC、航天七院)
- 上海航天技術研究院(SAST、航天八院、上海航天局)
 - 中国航天電子技術研究院(CAAET、航天九院)
 - 中国航天空氣動力技術研究所(CAAA)

<商業活動部門>

- 中国衛星通信集团公司(China Satcom)
 - 中国長城工業總公司(CGWIC)
 - 中国航天工程諮詢センター
- 中国資源衛星応用センター(CRESDA)
 - 中国航天国際控股有限公司(CASIL)
 - 北京神舟航天ソフトウェア技術有限公司
 - 深セン航天科技创新研究院
 - 航天長征国際貿易有限公司
 - 航天新商務信息科技有限公司 他

<直属機関>

- 中国航天標準化研究所
- 航天通信センター
- 中国航天ニュース社
- 中国宇航学会
- 航天人才開発交流センター 他
- 首都航天機械公司(CAMC)

<関連機関>

- 北京航天衛星応用總公司
- 上海航天動力技術研究院(CAANT)
- 航天東方紅衛星有限公司(CASCとCAST出資)

<大型生産・研究院>

- 信息技術研究院(第一研究院)
- 防御技術研究院(中国長峰機電技術研究院)
- 飛航技術研究院(中国海鷹機電技術研究院)
- 運載技術研究院(第四研究院)
- 動力技術研究院(第六研究院、中国河西化工機械公司))
- 中国航天建設集團有限公司
- 貴州航天工業有限責任公司
- 湖南航天工業總公司
- 中国華騰工業公司
- 航天科工深圳有限公司
- 中国航汽車有限公司
- 河南航天工業總公司
- 航天精工有限公司 他

<CASIC傘下の上場企業>

- 航天信息股份有限公司 · 航天通信控股集團股份有限公司
- 航天科技控股集團股份有限公司 · 北京航天長峰股份有限公司
- 航天晨光股份有限公司 · 贵州航天電氣股份有限公司

<CASIC傘下の非上場企業>

- 中国航天科工集團061基地
- 湖南航天管理局
- 河南航天工業總公司
- 中国航天工業總公司
- 中国航天物資中心
- 中国航天汽車有限公司
- 航天科工深圳集團有限公司
- 航天科工財務限責任公司 他

地方政府と地方企業の宇宙開発事例

省名	企業名	衛星名	最初の打上げ年	累積衛星数	備考
吉林省	長光衛星技術有限公司	吉林1(JL) 靈巧(LQ)	2016年	13	
浙江省	浙江利雅电子科技有限公司	麗水1(LS)	2016年	1	
陝西省	西安测绘研究所他	絲路1 01 (SL)	2017年	1	陝西省5機関の共同開発
河北省	軍民融合小衛星産業連盟	河北	2021年以降予定	0	16機の衛星群
海南省	三亞中科遙感研究所	海南、三亞 三沙	2021年予定	0	10機の衛星群
山東省	山東產業技術研究院	齊魯	2021年以降予定	0	3機の衛星群

衛星打上げなどを行っている大学

教育部(MOE)所管*	工業情報化部(MIIT)所管
○☆清華大学(Tsinghua University) ○浙江大学(ZD) ○上海科技大学(SKU) ○南京科技大学(NJUST) ○武漢大学(WHU) ○青島科技大学(UQST) ○南京理工大学(NJUST) ☆北京大学(PKU) ○☆北京師範大学(BNU) ☆南京大学(NJU) ☆南京師範大学(NNU) ☆香港中文大学(CUHK) ☆華東師範大学(ECNU) ☆上海海洋大学(SHOU) ☆中国海洋大学(OUC) ○電子科学大学 △マカオ科学技術大学(MUST)	○ハルビン工業大学(HIT) ○★北京航空航天大学(BUAA) ○南京航空航天大学(NUAA) ○西北工业大学(NWPU) ※北京理工大学(BIT)
中央軍事委員会所管	
○国防科技大学	
中国科学院(CAS)所管	
△中国科学技术大学(USTC)	

○は衛星打上げ実績あり、△は衛星打上げ計画あり

☆はドラゴン計画参加実績あり

★は長期閉鎖環境滞在実験の実績あり

※はISS搭載の実績あり

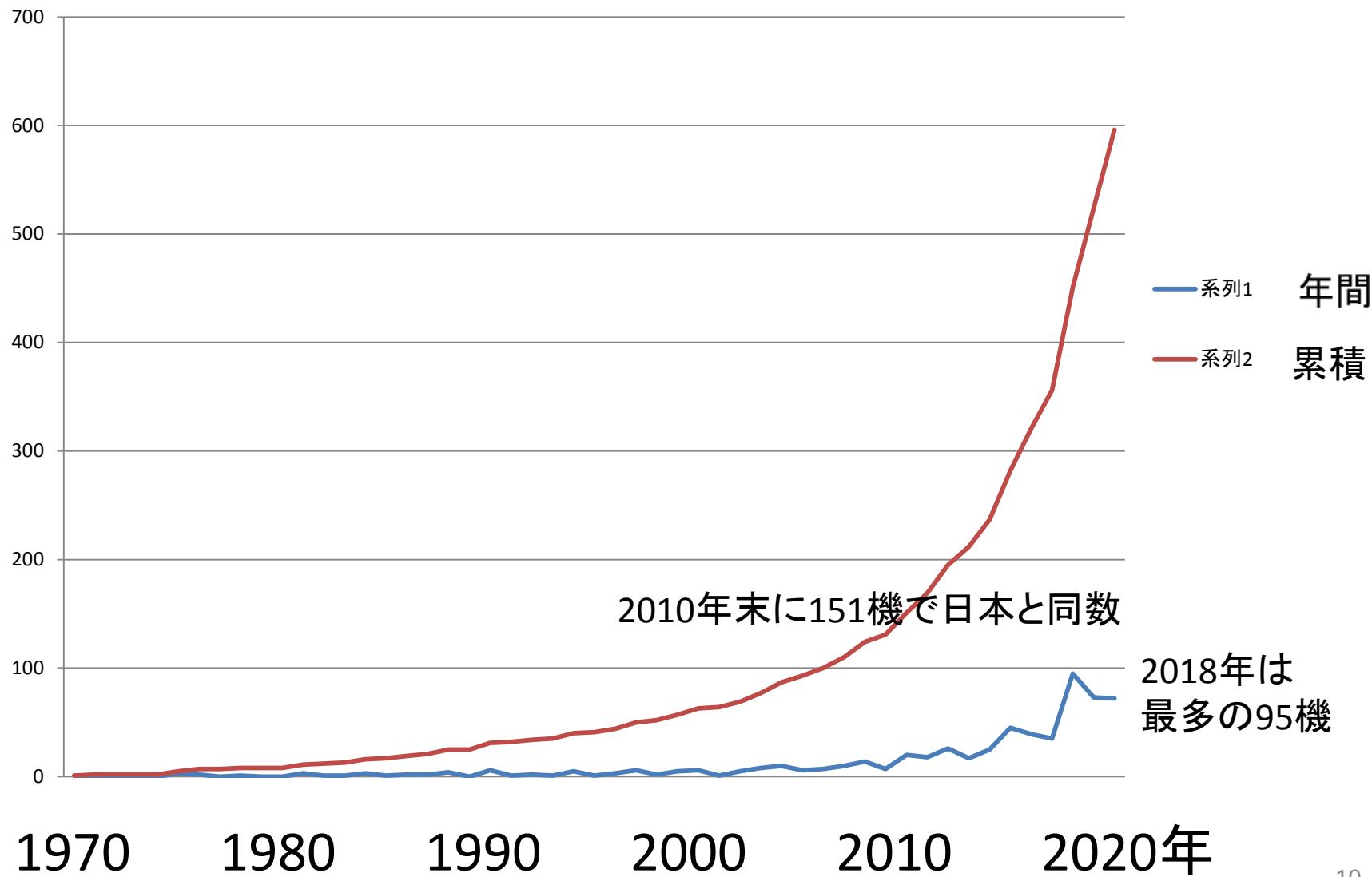


2. 中国の宇宙開発の足跡

- 20世紀最後の30年間で累積衛星数は63機。(主に大型ロケットの開発・静止通信衛星の開発・回収式衛星による写真撮影・各種の技術試験など)
- 2001年から2010年までの間に88機の衛星を打ち上げ、累積151機で日本と同数になった。ミッションは有人宇宙船や航行測位衛星に広がった。
- 2011年から2015年までの間に131機の衛星を打ち上げ、日本を大きく引き離した(日本はこの間46機)。
- 2016年から2020年までの間に314機(日本は60機)で累積衛星数は596機となった。
- 現在は第14次5力年計画の最初の年が始まったばかり。2021年2月15日までの衛星数は中国6機(うち1機はNZから打上げ)に対し日本は1機(Falcon9で打上げ)。

中国の年間衛星打上げ数と累積数の推移

1970年—2020年



中国の累積衛星数のミッション別の内訳(5年前との比較)

米国・ロシアに次ぎ世界第3位、運用中の衛星数は米国に次ぎ第2位。
(航行測位衛星の静止にはIGSOを含む)

ミッション	主な用途	2015/12/31	2020/12/31	2020/8※1
		衛星数 (うち静止)	衛星数※2 (うち静止)	運用中の 衛星数
(2) 地球観測衛星	農業・災害・海洋・気象	96(8)	213 (11)	185(5)
(3) 通信放送衛星	データ通信・電話・TV	53(45)	85 (61)	52(32)
(4) 航行測位衛星	測位・ナビ・タイミング	24(17)	59 (27)	51(21)
(5) 宇宙科学衛星	地球近傍観測	18	26	17
(6) 有人宇宙船	有人宇宙活動	12	14	0
(7) 月・惑星探査機	他天体探査	3	7	4
技術試験衛星	各種の宇宙技術開発	76	192 (3)	75(3)
計		282(70)	596(102)	384(61)

※1 UCS(憂慮する科学者同盟) 2020年8月末時点で 米国の運用中の衛星数は約1440機、ロシアは約175機

※2 宇宙切手の展示室 2020年12月31日時点で米国の累積衛星数は4,192機、ロシアは3,575機

(1) 宇宙輸送システム

－ロケットと衛星の段階的大型化－

- 最初は小型衛星から
1970年、「長征1」ロケットにより「東方紅1号」(173kg)を打上げ。
- 1975年、「長征2A」ロケットにより「返回式衛星(FSW)」(1800kg)を打上げ、写真フィルム回収に成功。
- 1984年、「長征3」ロケット(LEO投入能力 5000kg)により通信衛星「東方紅2号」(1340kg)を打ち上げ、静止化に成功。
- 1996年、「長征3B」ロケット初打上げで「Intelsat 708」(4180kg)の打上げに失敗。次のフィリピン「Agila 2」(3775kg)は成功。
- 2015年、「長征5」ロケット初打上げで技術試験衛星「実践17号」の静止化に成功。(GEO 13トン、長征5BはLEO 23トン)
- 2020年、「長征8」ロケット初打上げ(SSO投入能力4.5トン)
- 開発中の「長征9」ロケットはLEO 100トン、有人月探査や大型深宇宙探査などを目指す。

中国のロケット打上げ回数

- 2020年12月31日までに383回(打上げ失敗を含む)

長征1型(小型) 2(酒泉 2)

長征2型(中型) 130(酒泉90、西昌19、太原21)

長征3型(大型) 129(西昌129)

長征4型(中型) 71(酒泉12、太原58、西昌 1)

長征5型(超大型) 6(文昌 6)

長征6型(小型) 4(太原 4)

長征7型(中型) 3(文昌 3)

長征8型(中型) 1(文昌 1)

長征11型(小型) 11(酒泉 7、西昌 2、海上 2)

長征計357(酒泉111、西昌151、太原83、文昌 10、海上2)

射場の位置



長征以外のロケット(計26回)

- 快舟(小型) 13(酒泉11、太原2)
- 開拓者 2(酒泉2)
- 風暴(小型) 6(酒泉6)
- 民間企業、双曲線、捷龍、穀神星、朱雀、OS-M



長征3B型ロケットの失敗

- 1996年10月、Intelsat衛星(米国製)の打上げで長征3Bの機体が打上げ直後から傾き、ほぼ水平飛行して墜落。6名が死亡。
- 2016年、ロシアで同様な打上げ直後の墜落という大事故が発生し、その様子が中国の事故と同じで、原因は角速度センサが上下逆に取り付けられていたためと判明。
- 米国製の静止衛星の打上げは1997年のフィリピン衛星が最後となった。米国の低軌道衛星「Iridium」は長征2Cにより6回で12機を打上げ。以後は中国製の衛星打上げが主で、例外的に欧洲製衛星も打上げ。

(2) 地球観測衛星

- ・中国で最初の地球観測衛星は宇宙から撮影した画像のフィルムを地上で回収する「**返回式衛星(FSW)**」。
- ・電波でデータ伝送する地球観測衛星はブラジルと共同の「**CBERS-1**」(1999年打上げ)から始まった。
- ・2015年10月、国家発展改革委員会、財務部及び国防科技工業委員会(SASTIND)は、2015年から2025年までの国家宇宙インフラ(地球観測衛星・通信放送衛星及び航行測位衛星)整備計画を発表した。地球観測衛星は、観測対象によって陸域・海洋・大気に分類し、それぞれにミッションの異なる複数(2つか3つ)の衛星群を2025年までに整備する。
- ・地震電磁波観測衛星やCO₂観測衛星などの専用衛星を打上げ。
- ・毎年打ち上げられ、世界有数の衛星群となっているのは、民生用の「高分(GF)」(23機)と軍事用の「遙感(YG)」(53機)。

返回式衛星(FSW)

- 時速2万7千kmで飛行する衛星を地上に燃え尽きない状態で回収することは非常に難しい。
- 周恩来首相の指示「必ず中国国内に着陸させること」。
- 軌道上でレトロエンジンに点火して大気圏に再突入。
- 1974年は長征2A型ロケットによる打上げに失敗。
- 1975年に初めて銀塩フィルムの回収に成功。
- 実際は冷や汗もの。奇跡的な成功と言える。
- その後も、川底に沈んだり、山中に落下することを避けるため1日長く周回させたり、ロケットの暴走で1日早く落下せたりし、1993年にはレトロエンジン噴射ミスにより制御不能となり、太平洋に自然落下して回収に失敗した。



返回式衛星の打上げ記録

1994年以降は微小重力実験へ

衛星名	打上げ日	回収日	予定日数	着陸場所	予定外の状況
FSW	1974年11月5日	—	—	—	打上げ失敗
FSW 1	1975年11月26日	11月29日	3日	貴州省六枝地区	400km離れた場所に落下。炭坑夫が発見し通報。
FSW 2	1976年12月7日	12月10日			
FSW 3	1978年1月26日	1月29日			
FSW 4	1982年9月9日	9月14日			
FSW 5	1983年8月19日	8月24日			
FSW 6	1984年9月12日	9月17日	5日	四川省内江市	川底に沈没、漁船で引き揚げ。
FSW 7	1985年10月21日	10月26日			
FSW 8	1986年10月6日	10月11日			
FSW 9	1987年8月5日	8月10日			
FSW 10	1987年9月9日	9月17日	8日	四川省遂寧市	回収成功
FSW 11	1988年8月5日	8月13日			
FSW 12	1990年10月5日	10月13日			
FSW 13	1992年8月9日	8月25日	16日		周回を1日長くして回収成功
FSW 14	1992年10月6日	10月13日	7日		周回を1日短くして回収成功
FSW 15	1993年10月8日	10月18日	—	太平洋東部	レトロエンジンの噴射方向が逆で制御不能となり、自然落下。

地球観測衛星の種類別・期間別打上げ数 (2015年までの96機と第13次5カ年計画期間の117機)

分類	衛星名	ミッション	所有機関	2015年 まで	2016- 2020年
陸域観測	高分	高分解能観測	不明	5	18
	資源・CBERS	資源探査	遥感・数字地球研究所	9	4
	環境	レーダを含む	中国資源衛星応用センター	3	2
	天絵	立体測量	人民解放軍	3	2
	高景	高分解能観測	四維世景科技	0	4
	遥感	偵察	人民解放軍	39	28
	陸地勘查	高分解能観測	CAST	0	4
	張衡	地震電磁波検知	国家地震局	0	1
	返回式	偵察	CAST	15	0
海洋観測	海洋	海色、海洋動力学	国家衛星海洋応用センター	3	4
	中仏海洋	海洋観測	CNSA	0	1
大気観測	風雲	気象観測	中国気象局	13	3
	雲海	大気観測	AST	0	6
	碳衛星	CO ₂ 観測	CAST	0	1
地方政府 その他	吉林	陸域観測	長光衛星技術	3	22
	珠海	ビデオ撮影	珠海欧比特控制工程	0	12
	寧夏	陸域観測	寧夏金硅信息技術	0	5
	大気	大気観測	CAST	2	0
	北京	災害監視	清華大学	1	0

民生用地球観測衛星の整備計画 (2025年まで)

地球観測衛星分類	陸域観測	海洋観測	大気観測
衛星群(星座)	高分解能光学 観測星座	海洋水色 衛星星座	天気観測 衛星星座
	中分解能光学 観測星座		
	合成開口レーダ 観測星座	海洋動力 衛星星座	気候観測 衛星星座
専用衛星	地球物理場 探測衛星 (電磁場観測)	海洋環境 観測衛星	大気成分 探測衛星

<https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/ghwb/201510/W020190905497791202653.pdf>
民生用宇宙インフラ中長期発展計画 p6～p11の記述を表に整理

(3) 静止通信衛星

- 1986年に東方紅2型バスを改良した東方紅2A型バスで静止通信衛星「**東方紅2号**（または試験同步通信衛星1号）」を打ち上げ、最初の実用静止通信衛星となった。姿勢制御はスピンドル安定式を採用した。
- 1994年に打ち上げた「**東方紅3号**」は東方紅3型バスに中継器（トランスポンダ）を24本搭載し、三軸姿勢制御方式の本格的な静止通信衛星となった。
- 設計寿命を15年にした倍増した東方紅4型バスを開発し、2006年に鑫諾衛星通信有限公司（Sinosat）の「**鑫諾2号**（Sinosat-2）」に初めて適用した。
- 2017年に長征5号機（試験2号機）により世界最大クラスの東方紅5型バスを用いた「**実践18号**」を打ち上げたが、ロケットの打上げが失敗に終わった。長征5試験3号機は2019年に「**実践20号**」の打上げに成功し、長征5号機が運用段階に入った。



通信放送衛星の種類別期間別打上げ数 (2015年までの53機と第13次5力年計画期間の32機)

軌道	衛星名	所有機関	2015年まで	2016-2020年
静止	中星	中国通信广播衛星公司	16	3
	APStar	亞太衛星公司	8	1
	Asiasat	亞州衛星公司	8	1
	ABS	人民解放軍	2	1
	天通	CAST	0	2
	天鏈	人民解放軍	3	2
	その他	CAST	6	6
	鑫諾	鑫諾	2	0
LEO	凱盾	北京凱盾環宇科技	0	1
	行雲	CASIC	0	3
	天啓	北京国電高科科技	0	10
	銀河	銀河有限公司	0	1
	その他	CAST	8	1

商業通信衛星

- ・ 中国航天科技集團有限公司(CASC)に属する中国衛星通信集團有限公司(ChinaSatCom)は、「中星」衛星を多数運用している。軍事用も含む。
- ・ 香港企業の亞太衛星公司(APStar)及び亞州衛星公司(Asiasat)は1997年の香港返還以後は中国企業となつた。
- ・ アジア放送衛星(ABS)も香港に地域本社を置いて商業通信を行つてゐる。本拠はバーミューダ。
- ・ 小型衛星群によるインターネット通信やIoT(モノのインターネット)通信を構築しようとする企業が増加している。地方政府も支援している。

宇宙経由の量子暗号通信の実験

- 量子科学実験衛星「墨子(Mozi)」(旧称QUESS)
2017年8月、墨子を経由して7600キロ離れた中国とオーストリアの間で衛星から地上への量子鍵配達と地上から衛星への量子テレポーテーションの実現に初めて成功した。



2025-2030年に中国全土を網羅する量子通信ネットワークを構築し、将来、全球を網羅する複数の静止衛星による量子通信ネットワークを構築する可能性がある。

(4) 航行測位衛星

- 全球を網羅する北斗(Beidou)航行測位システムにより、2012年12月にアジア・太平洋地域のユーザ向けに無料のPNT(測位・航法及びタイミング)サービスの提供を正式に開始し、2020年に北斗3型衛星35機の衛星群を完成させた。



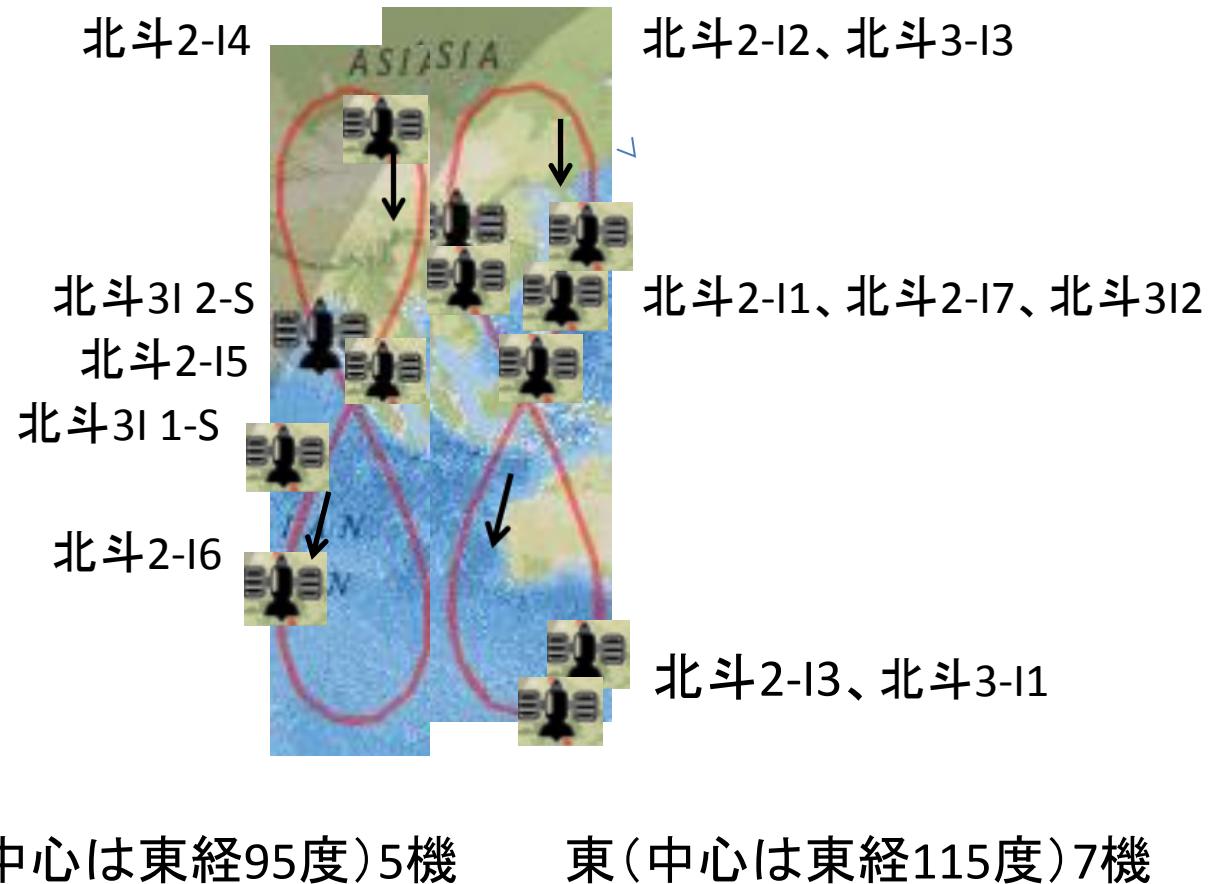
- 北斗3型衛星35機の内訳は、周回衛星27機、静止衛星3機、軌道傾斜角付き地球同期衛星5機(準天頂衛星)(次頁の表参照)

航行測位衛星の機種別打上げ数

北斗衛星の年別打上げ状況（赤数字は運用終了）

軌道区分	型式	2000	2003	2007	2009	2010	2011	2012	2015	2016	2017	2018	2019	2020	計
静止	1	2	1	1											4
	2G				1	2+1		2		1			1		6+2
	3G											1		2	3
軌道傾斜角付き地球同期	2I					2	3			1		1			7
	3I								2				3		5
中高度周回	2M			1				1+1	2						3+2
	3M							2		1	2	16	6		27
計		2	1	2	1	4+1	3	5+1	4	3	2	18	10	2	51+8

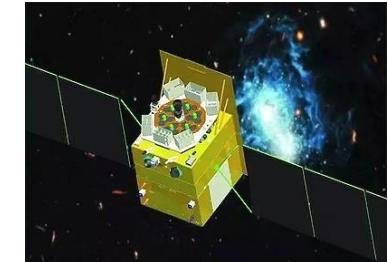
北斗2I/3Iの軌道(2021年2月10日13時頃)



(5) 宇宙科学 — 天文観測衛星

① 硬X線調制望遠鏡「慧眼」(HXMT)

中国初の天文観測衛星。HXMTは2017年6月15日に打ち上げた。主要なミッションは、高エネルギー天体の発見やブラックホールの観測など。衛星バスは中国空間技術研究院(CAST)が開発し、X線望遠鏡は中国科学院高エネルギー物理研究所(IHEP)と清華大学が制作した。



② 暗黒物質粒子探査衛星「悟空」(DAMPE)

DAMPEは、中国空間科学研究所(NSSC)と上海小型衛星工程センターが開発し、2015年12月17日に打ち上げられた。翌年3月には軌道上試験を完了し、NAOJに属する紫金山天文台(江蘇省南京市)へ引き渡された。ミッションは、暗黒物質(ダークマター)粒子の研究、宇宙線の起源の探査、高エネルギーガンマ線観測など。運用期間は3年で、最初の2年間で全天観測を行い、その後定点観測を行った。



③ 重力波観測衛星「太極」(KX-9)

2019年9月、重力波観測ミッションの1号機として打ち上げた。

④ 重力波対応高エネルギー電磁波全天観測衛星「懷柔」(GECAM)

IHEPが開発、2020年12月、2機同時に打上げ。



計画中の宇宙科学ミッション

- ◆中欧共同の太陽風・磁気圏・電離圏の相互作用観測ミッション「SMILE (Solar wind Magnetosphere Ionosphere Link Explorer)」
- ◆太陽極軌道電波望遠鏡「SPORT」
- ◆X線タイミング・偏光観測衛星「eXTP」
- ◆太陽系外地球型惑星探査ミッション「STEP」
- ◆先端宇宙設置型太陽天文台「ASO-S」
- ◆X線探査衛星「EP(インシュタイン・プローブ)」
- ◆中仏共同のガンマ線バースト観測衛星「SVOM」
- ◆系外惑星観測衛星「覓音(Miyin)」
- ◆超長基線電波干渉天文観測(VLBI)

回収式衛星による微小重力実験 －実践(SJ)衛星を含む－

衛星名	打上げ日	回収日	予定日数	着陸場所	備考
FSW 16	1994年7月3日	7月18日	15日	四川省 遂寧市	回収成功
FSW 17	1996年10月20日	11月3日			
FSW 18	2003年11月3日	11月21日			
FSW 19	2004年8月29日	9月25日			
FSW 20	2004年9月27日	10月15日	18日	民家の屋根を直撃。 住民は外出中で無事。搭載された食用アリの家族が死亡	回収成功
FSW 21	2005年8月2日	8月29日	27日		
FSW 22	2005年8月29日	10月17日	49日		
SJ-8	2006年9月9日	9月24日	15日		
SJ-10	2016年4月5日	4月18日	13日		

(6)有人宇宙活動

- 有人宇宙船「神舟」、ドッキング目標「天宮」、貨物輸送船「天舟」を打上げ

宇宙機名称	国際標識番号	打上げ日(GMT)	打上げロケット	備考
神舟	1999-061A	1999/11/19	長征 2F	無人
神舟2	2001-001A	2001/1/9	長征 2F	無人
神舟3	2002-014A	2002/3/25	長征 2F	無人
神舟4	2002-061A	2002/12/29	長征 2F	無人
神舟5	2003-045A	2003/10/15	長征 2F	1名搭乗
神舟6	2005-040A	2005/10/12	長征 2F	2名搭乗
神舟7	2008-047A	2008/9/25	長征 2F	3名搭乗、船外活動実施
天宮1	2011-053A	2011/9/29	長征 2F/G	<ul style="list-style-type: none"> ・ドッキングターゲット ・神舟9号・10号の宇宙飛行士が搭乗 ・2018年4月2日再突入
神舟8	2011-063A	2011/10/31	長征 2F/G	<ul style="list-style-type: none"> ・無人 ・天宮1号との初のドッキング
神舟9	2012-032A	2012/6/16	長征 2F/G	<ul style="list-style-type: none"> ・3名搭乗(初の女性を含む) ・天宮1号とドッキング
神舟10	2013-029A	2013/6/11	長征 2F/G	<ul style="list-style-type: none"> ・3名搭乗(初の宇宙教師(女性)を含む) ・天宮1号の回りを周回する初の周回ランデブ試験
天宮2	2016-057A	2016/9/15	長征 2F/T	<ul style="list-style-type: none"> ・宇宙実験室 ・神舟11号の宇宙飛行士が搭乗 ・2019年7月19日再突入
神舟11	2016-061A	2016/10/16	長征 2F/G	<ul style="list-style-type: none"> ・2名搭乗 ・天宮2号とドッキング
天舟 1	2017-021A	2017/4/20	長征 7	<ul style="list-style-type: none"> ・天宮2号と3回ドッキング ・8月1日「絲路1」を放出 ・9月26日再突入

宇宙飛行士

- これまでに宇宙飛行した人数は11人(うち女性2人)。
延べ飛行回数は14回。宇宙滞在日数は168日。

番号	氏名	宇宙飛行期間	搭乗機
1-1	楊 利偉 (Yang Liwei)	2003/10/15	神舟5号
2-1	費 俊龍 (Fei Junlong)	2005/10/12～10/16	神舟6号
3-1	聶 海勝 (Nie Haisheng)	2005/10/12～10/16	神舟6号
3-2		2013/6/11～6/26	神舟10号
4-1	翟 志剛 (Zhai Zhigang)	2008/9/25～9/28	神舟7号
5-1	劉 伯明 (Liu Boming)	2008/9/25～9/28	神舟7号
6-1		2008/9/25～9/28	神舟7号
6-2	景 海鵬 (Jing haipeng)	2012/6/16～6/29	神舟9号
6-3		2016-10/16-11/17	神舟11号
7-1	劉 旺 (Liu Wang)	2012/6/16～6/29	神舟9号
8-1	劉 洋 (Liu Yang)	2012/6/16～6/29	神舟9号
9-1	張 曉光 (Zhang Xiaoguang)	2013/6/11～6/26	神舟10号
10-1	王 亞平 (Wang Yaping)	2013/6/11～6/26	神舟10号
11-1	陳 冬 (Chen Deng)	2016-10/16-11/17	神舟11号

10人目までの宇宙飛行士



2020年10月 第3期宇宙飛行士選抜

- 有人宇宙弁公室(CMSEO)は2017年から第3グループの宇宙飛行士選抜を開始し、2020年10月に女性1名を含む18名を選抜した。
- 18名の内訳は、パイロット宇宙飛行士7名、フライトエンジニア7名、ペイロードスペシャリスト4名。
- これまででは空軍パイロットだけだったが、今後の宇宙ステーション運用のため、一般の科学者や技術者も選抜の対象にした。

「中国宇宙ステーション」(CSS)計画

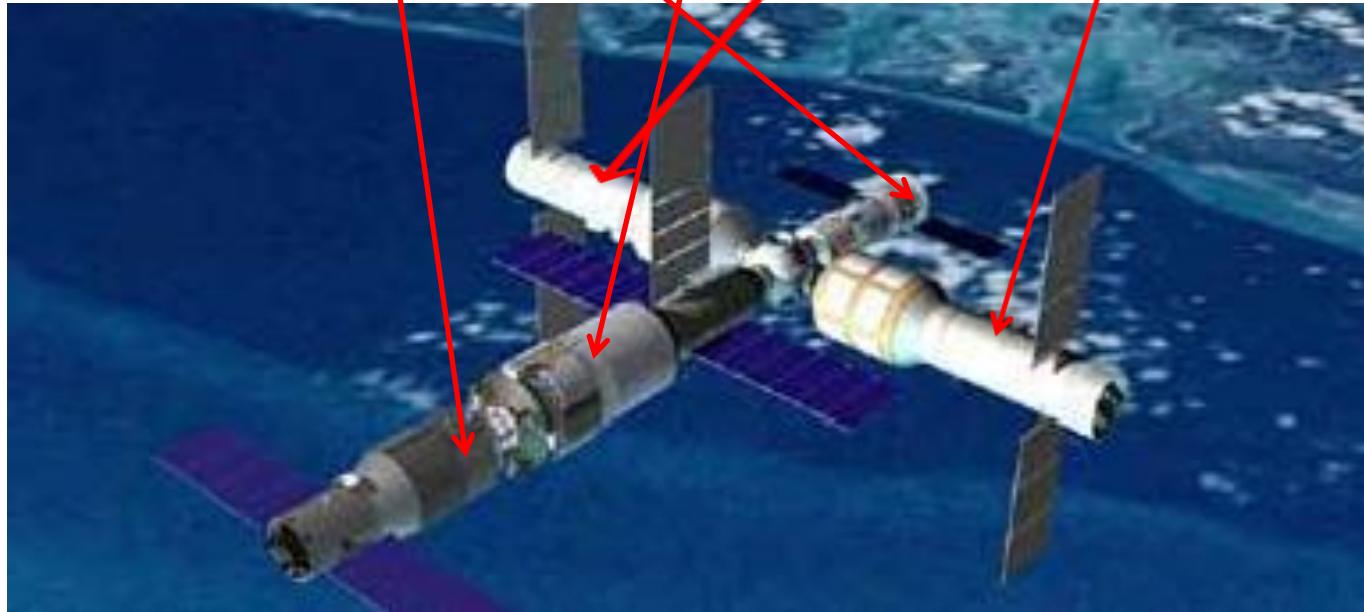
- 国際宇宙ステーション(ISS)や旧ソ連/ロシアのミール宇宙ステーションと同様に複数のモジュールを組み合わせ、搭乗員輸送船や物資補給船を接続して5つの宇宙機の複合体として運用する。



- 一時的な滞在ではなく年間を通じて有人活動を行うことが可能。
- 国連宇宙部(UNOOSA)との協力の枠組みで中国人以外の宇宙飛行士を搭乗させる計画もある。
- 日本を含む外国との共同宇宙実験計画も発表されている。

中国宇宙ステーション「天宮」の構築

- ・天宮の3つのモジュール(天和・夢天・問天)
- ・有人宇宙船 神舟(2021年に12号)
- ・貨物輸送船 天舟(2021年に2号)



- ・2021年「天和」から構築開始、2022年頃完成見込み。
- ・天文観測モジュール「巡天」は同一軌道で単独飛行。

CSSにおける日本との共同宇宙実験

2019年6月、中国宇宙ステーションに日本・中国を始め17カ国から募集した9件の宇宙実験を受け入れると発表した。

欧洲9カ国・ロシア・インドの他、サウジアラビア、ケニア、メキシコ、ペルーなど宇宙新興国の参加も受け入れ、宇宙創薬、天文学、生命科学、微小重力実験、地球科学、宇宙技術などの実験を行う。

これは旧ソ連のインターロスモス計画に匹敵するもので、中国宇宙ステーションの利用機会を外国にも提供することによって、宇宙活動における中国の地位を高める狙いがあると考えられる。

日本からは東京大学工学部の中谷辰爾准教授が研究している燃焼の安定性に関する実験を行う。

民間のアイディアを募集 —求む！CSSへの効率的な物資輸送—

- CSSへの物資補給船として天舟が開発され、2017年に長征7型ロケットによる初飛行に成功した。
- 2020年、中国は民間からCSSへの効率的な貨物輸送のアイディアを募集した。
- (辻野案)スペースX社に貨物船の開発及び打上げを発注する。ドッキング機構(通路部分)は中国が現物支給する。このような受注を米国政府が許容するかどうか、中国の衛星を米国で製造して輸出できるかどうか、クリアすべき関門は多いが、実現すれば「ベルリンの壁」崩壊に匹敵し、米中関係の新たな展開が期待できる。

有人宇宙飛行での国際協力

- ・ 中国は既に多くの国と宇宙平和利用の協力協定を締結し、BRICS、東南アジア諸国連合(ASEAN)、アジア太平洋宇宙協力機構(APSCO)、及びアラブ連盟に加盟する国や機構などとの多国間協力も強化している。外国衛星の打上げは27か国・国際機関に及んでいる。
- ・ 国連宇宙空間平和利用委員会(UNCOPUOS)、地球観測に関する政府間会合(GEO)、地球観測衛星委員会(CEOS)及び国際災害チャーターに参加している。アジア・太平洋地域宇宙機会議(APRSAF)には、国家航天局(CNSA)や中国空間技術研究院(CAST)などが参加した実績がある。有人宇宙飛行の国際協力を下地は既にできているといえる。
- ・ 天宮に外国モジュールを接続する可能性にも言及している。ロシアとは有人宇宙飛行での部品の共通化などで交渉を行っている。

日本との宇宙協力の状況

- 2007年、JAXAの月周回衛星「かぐや」打上げ時に中国の宇宙関係者が種子島宇宙センターを訪問し、中国の「嫦娥1号」打上げの際にはJAXAから西昌射場を訪問した。
- その後中国科学院とJAXAの相互訪問を行い、地球観測や宇宙科学分野（微小重力実験を含む）での協力について協議を行った。
- 地球観測や天文観測などの協力はまだ具体化していないが、微小重力実験での日本との協力はJAXA以外との間で具体化してきた。

(7) 月惑星探査

- 太陽系の天体は8つの惑星、5つの準惑星、惑星の衛星、小惑星などがある。
- 内惑星 地球より内側の水星と金星
- 外惑星 火星・木星・土星・天王星・海王星
- 準惑星 冥王星・エリス・ケレス・マケマケ・ハウメア
- 惑星の衛星 地球の月・火星のフォボス・木星のエウロパ・土星のタイタンなど。
- 小惑星 大部分は火星と木星の間に存在するが地球軌道と交差または接近する地球近傍小惑星もある。

主要国の月探査実績

国名	月周回	月着陸	サンプルリターン	有人月着陸
ソ連 (現ロシア)	1966年 ルナ 10	1966年 ルナ 9	1970年 ルナ 16	未
アメリカ	1966年 ルナー・オービタ 1	1966年 サーベイヤ 1	1969年 アポロ 11(有人)	1969-1972年 6回12人
中国	2007年 嫦娥1 2010年 嫦娥2	2013年 嫦娥3	2020年 嫦娥5	未 (2025年頃?)
ヨーロッパ	2003年 スマート-1	未 (2023年頃)	未	未
日本	1990年 はごろも 2007年 かぐや	未 (2023年頃)	未	未
インド	2008年 チャンドラヤン1	2018年 着陸失敗	未	未

月探査機「嫦娥」の三歩走

- ・ 嫦娥計画の三歩走は「繞(にょう)・落・回」。
- ・ 繰は「嫦娥1号」と「嫦娥2号」、落は「嫦娥3号」と「嫦娥4号」、回は「嫦娥5号」。
- ・ 2007年に嫦娥1号の月周回に成功、2012年にも嫦娥2号で月周回に成功した。
- ・ 2013年に嫦娥3号で世界で3番目に月着陸に成功。玉兔は保温の不具合のため2日で走行不能に。
- ・ 2018年5月にデータ中継衛星「鹊橋」(Queqiao)を打ち上げ。12月に「嫦娥4号」を打ち上げ、2019年1月3日に月の裏側着陸に成功。
- ・ 2020年11月に「嫦娥5号」を打上げ。12月に試料回収に成功。

嫦娥1号と嫦娥2号の月周回

— 嫦娥2号はSEL-2から小惑星へ —

- 第1フェーズとして2007年10月に初の月探査衛星「嫦娥1号(Chang'e 1、CE 1)」を長征3Aロケットにより打ち上げ、月周回軌道への投入に成功した。
- 嫦娥2号は観測精度を大幅に向上させて、次の段階で計画している着陸予定地点の詳細な観測を行った。月面観測の後、太陽-地球系の第2ラグランジュ点(SEL-2)において天文観測を行い、さらに小惑星「トータチス」に接近して写真撮影を行った。



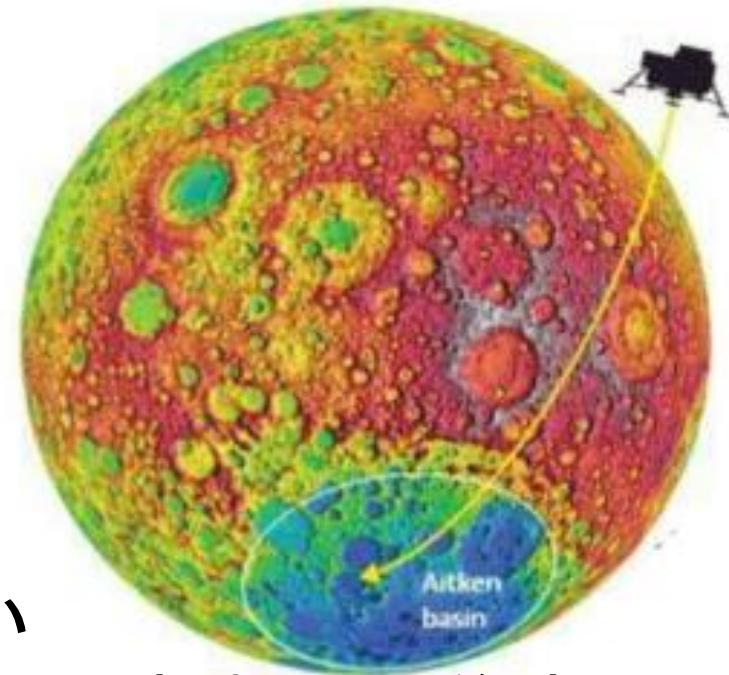
嫦娥3号の月着陸と玉兔の月面走行

- ・ 嫦娥3号は2013年12月1日に打ち上げ、同月14日に月面への軟着陸に成功した（世界で3番目）。
- ・ 探査ローバ「玉兔」の送り出しにも成功した。
- ・ 嫦娥3号（下図左）と玉兔（同右）が相互に写真を撮影。



嫦娥4号は世界で初めて月の裏側に着陸

- 月は自転周期と地球公転周期が全く同じで、常に地球に同じ面を見せている。裏側は起伏が激しい。



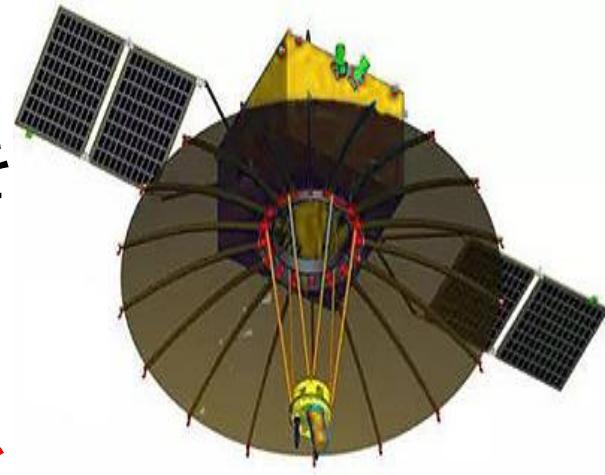
常に月の表側しか見えない

嫦娥4号の着陸場所

3(1)-3 月裏側探査機データ中継衛星

「鵲橋」(Queqiao、じゅつきょう)

- 嫦娥4号の制御を行ったり、データを地球に送るためにデータ中継衛星をあらかじめ打上げ。
- 質量: 425kg
- 軌道: 地球一月系第2ラグランジュ点(EML-2)を周回するHalo軌道。
- ミッション機器
 - ①直徑4.2mの送受信用アンテナ
 - ②中継装置 ③低周波観測装置(NCLE)
- 打上げロケット: 長征4C(GTO 1.5t、地球脱出軌道は初)
- 射場: 西昌衛星発射センター(長征4型で初)
2018年5月20日(日本時間21日6:28)打上げ成功

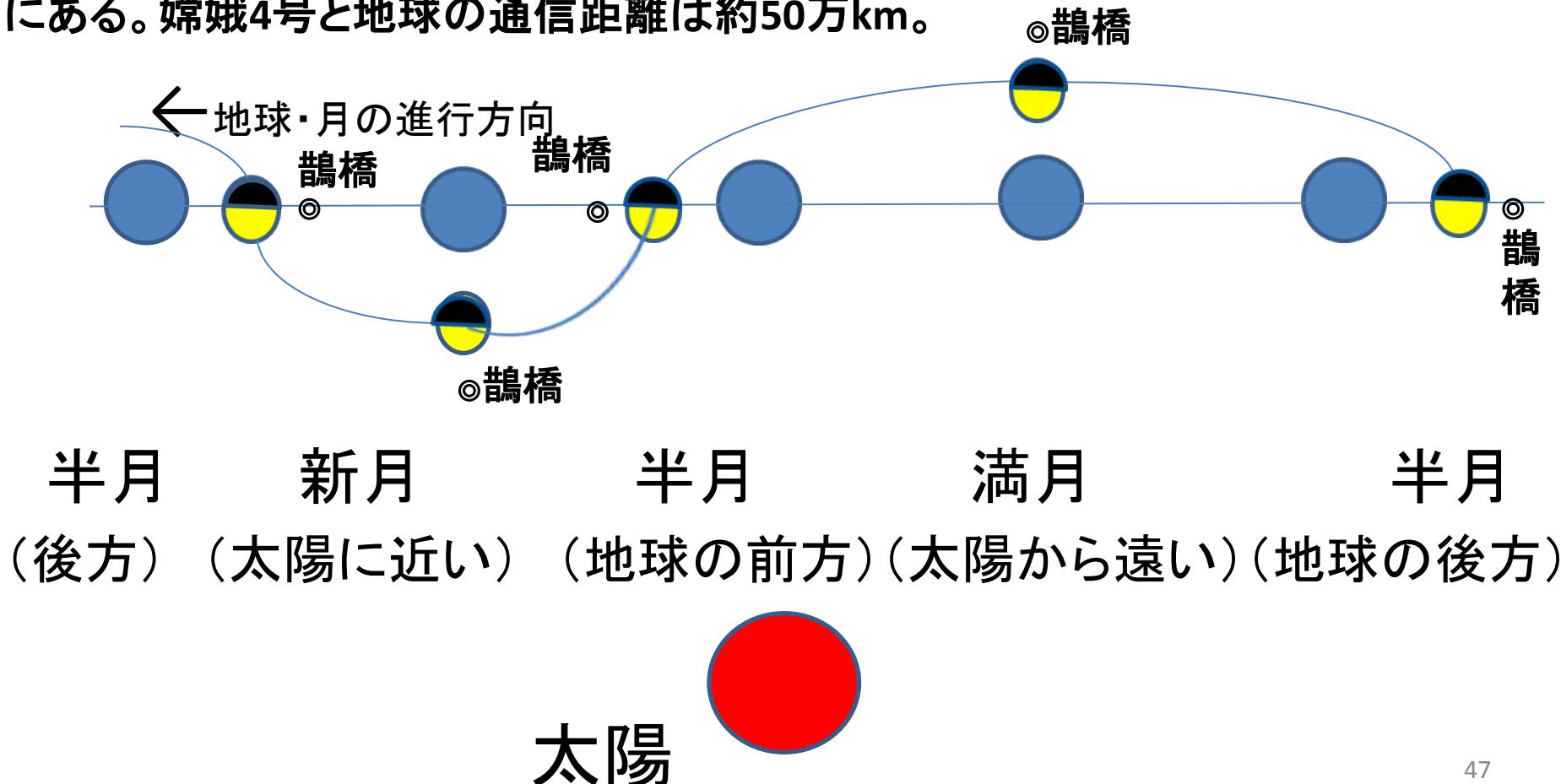


鹊橋

月は太陽から見ると蛇行して公転している

地球は1ヶ月で約8000万km移動する(太陽までの距離の約半分)。

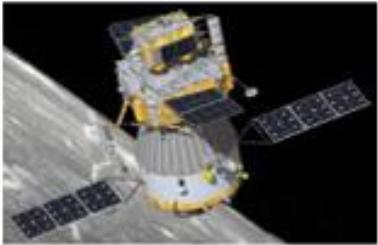
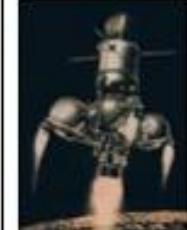
月は地球に引きずられるように蛇行しながら進む。「鵠橋」は月の後方6万km付近にある。嫦娥4号と地球の通信距離は約50万km。



嫦娥5号のサンプルリターン

- ・「嫦娥5号」は長征5型ロケットにより11月23日に打ち上げられ、月着陸後に月面の試料採取に成功し、12月16日地球に帰還して、米国・ロシアに次ぎ世界で3番目となる月サンプルリターン(採取試料は1731g)に成功した。
- ・打上げから着陸、月面からの打上げなどの手順はNASAのアポロ計画に類似している。
- ・無人での試料採取はロシアに次ぎ2番目。米国は有人でしか行っていない。

中国・米国・ロシアの月サンプルリターンの比較

比較項目	中国：嫦娥 5 号	米国：アポロ 11 号	ロシア：ルナ 16 号
	2020-087A	1969-059A	1970-072A
宇宙機の構成	探査機本体（嫦娥 5 号）、上昇モジュール、月軌道モジュール、帰還モジュール	司令・機械船、月着陸モジュール（イーグル）、上昇モジュール（コロンビア）	降下モジュール（発射台を兼ねる）、上昇モジュール（帰還カプセルを含む）
打上げ日	2020 年 11 月 23 日	1969 年 7 月 16 日	1970 年 9 月 12 日
月面着陸	12 月 1 日	7 月 20 日	9 月 20 日
採取試料の質量	約 1,731g	約 21.5kg	約 101g
上昇機打上げ	12 月 2 日	7 月 21 日	9 月 21 日
上昇モジュール落下	12 月 7 日	7 月 21 日	N/A（地球へ帰還）
地球帰還日	12 月 15 日	7 月 24 日	9 月 24 日
運用期間	24 日間	8 日 3 時間	12 日間
ロケット切り離し前後の外観			
上昇モジュール			

中国初の火星探査機打上げ

- 2020年7月「天問1号」を打上げ。2021年2月に火星周回軌道投入に成功、5月に火星着陸を予定。
- 周回機に7種類、着陸機に6種類のペイロードを搭載。
- 火星の環境、形態学的特徴、表面構造等に関する研究を実施。
- 2020年10月1日、国慶節を記念して、計測センサに取り付けられたカメラにより天問1号自身の画像を撮影した。



各国が競う火星探査

- ・米国は「Mars」シリーズで周回・着陸を実現。多数の火星ローバを運用中。昨年打上げの「Mars 2020」は2月18日に着陸の予定。サンプルリターンはまだ達成していない。
- ・ロシアは「Mars 3」で火星に着陸したが短時間で故障し、まだ科学観測は行えていない。
- ・日本は1998年に「のぞみ」を打ち上げたが火星到達に失敗。2020年代前半に火星衛星探査計画(MMX)でサンプルリターンを目指している。
- ・欧州は2003年打上げの「Mars Express」で火星周回に成功、「ExoMars 2016」では着陸失敗。
- ・インドは「Mangalyaan」で2014年に火星周回に成功。周回では4カ国目となったが、着陸はしていない。
- ・UAEは昨年H-2Aロケットで「Al-Amal(HOPE)」を打ち上げ2月9日に火星周回軌道投入に成功。周回では5カ国目となつたが着陸はしない。
- ・中国は「天問1号」が2月10日に火星周回軌道に投入され、周回で6カ国目となり、5月に3カ国目の着陸を目指す。

3. スペースX社の台頭

- ・ イーロン・マスクはペイパルを売って宇宙・自動車・太陽光発電事業に参入。宇宙部門は**スペースX社**、電気自動車・太陽光発電は**テスラ社**。
- ・ これらの事業の究極的な目的は**火星移住**。
- ・ スペースX社は年々業務実績を拡大(次頁参照)
 - ①「Falcon1」でMerlinエンジンの開発に注力。3回の失敗後、4回目で衛星の軌道投入に成功。
 - ②1段機体にMerlinエンジンを9個並べた「**Falcon 9**」を開発。
 - ③貨物輸送船「**Dragon**」、搭乗員輸送船「Crew Dragon」を開発。
 - ④米国の軍事衛星(GPS、NROなど)打上げに参入。
 - ⑤ロケット機体の再使用に世界で初めて成功し、ゲームチェンジ的なキー技術となった。
 - ⑥有人月活動を目指す**アルテミス計画**でも最初のモジュールの打上げを受注し、物資輸送でも主力となる見込み。
 - ⑦14000機以上の低軌道通信衛星群「**Starlink**」によるインターネット通信事業も開始。既に1000機以上打上げ。

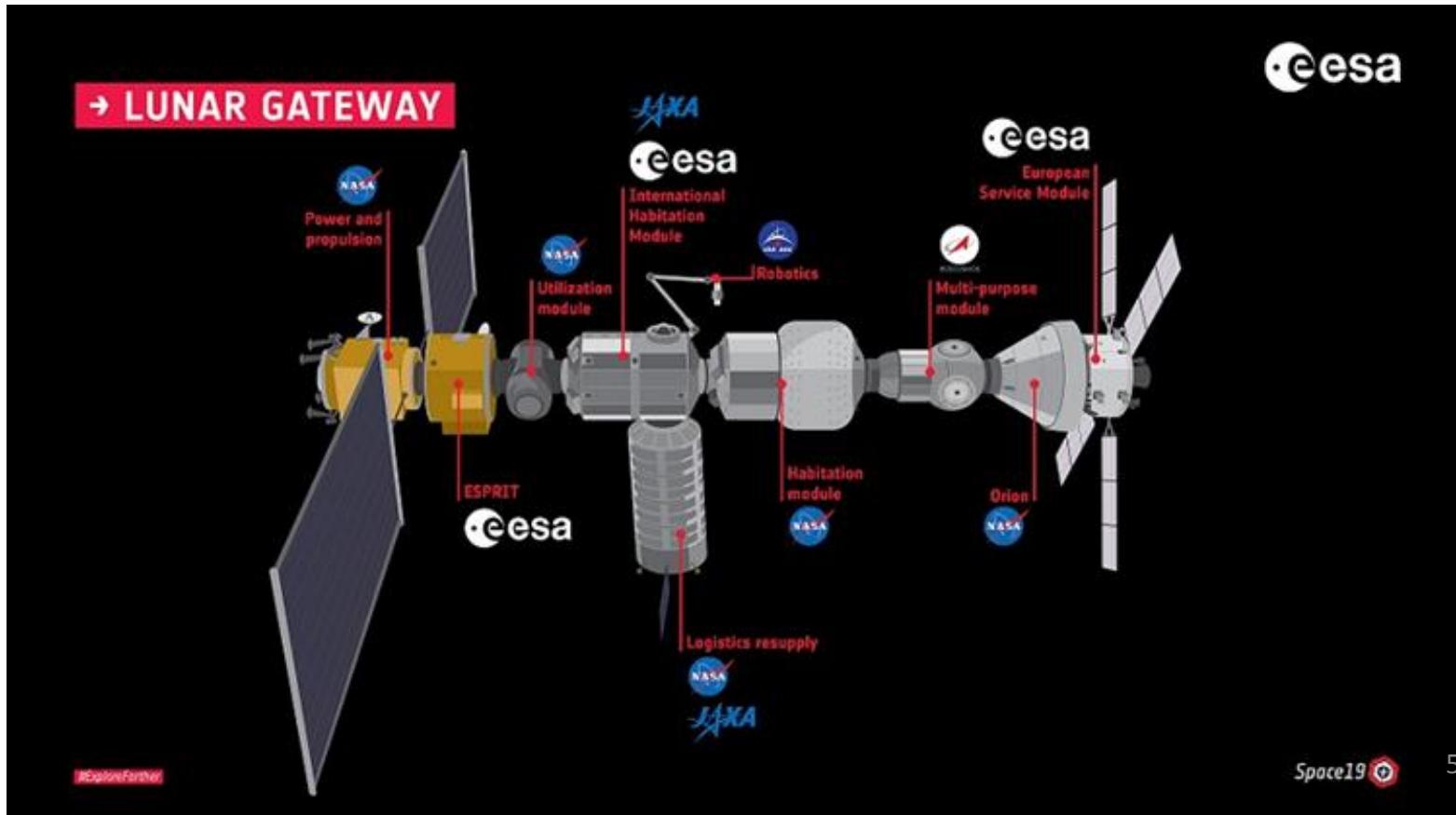
スペースX社のロケット運用実績

年月	できごと	備考
2009年7月	Falcon 1ロケットでマレーシア衛星打上げ成功	ここまで3回失敗、4機目初成功、5回目の打上げが最終号機。
2010年6月	Falcon 9ロケットの初飛行成功	2010年の年間打上げ回数2回(2回目も成功)、2011年0
2012年10月	初のドラゴン宇宙船の打上げ成功	2012年2回、2013年3回、2014年6回打上げ成功。回収失敗2回
2015年6月	ドラゴン宇宙船搭載のFalcon 9ロケットの打上げ失敗	2015年は年間7回打上げ、 打上げ失敗1回 、回収成功1回、回収失敗2回
2015年12月	ロケット機体の回収に初めて成功	
2016年9月	イスラエル衛星を搭載した点検中のFalcon 9が射場で爆発炎上	2016年は8回打上げ成功。うち回収成功4回、回収失敗3回
2017年3月	初の再使用打上げ。	2017年は年間18回打上げ、うち5回再使用、14回回収成功(再使用での回収成功1回を含む)、回収失敗なし
2017年12月	再使用ロケットで再使用宇宙船を打上げ	
2018年1月～2019年12月	ファルコンヘビーでCEO個人所有の自動車を火星遷移軌道に投入	34回打上げ(成功率100%)6回はex機体回収成功21回(成功率75%)
2020年1月～12月	初の有人打上げ(野口さんを含め年間6名)、Starlink衛星を833機打上げ	25回打上げ(成功率100%)機体回収成功23回(成功率92%)
2021年1月～	2月15日までに6回打上げ、搭載衛星数384機	打上げ、回収とも成功率100% 53

スペースX社が寄与するアルテミス計画

月周回有人拠点「月ゲートウェイ」

月ゲートウェイはアルテミス計画の中心的な要素で、スペースX社は最初のモジュールの打上げや補給輸送で中心的な役割を果たす。



再使用型ロケット技術の開発

- Grasshopper(バッタ)の打上げ・地上
帰還実験(744mまで上昇)
- 海上ドローン(着陸場)30m四方



- 最初は4回続けて着陸に失敗したが、この小さな場所にきちんと戻って来るだけでも驚異的だった。
- 着地スピードが速すぎて衝突炎上、脚が弱くて顛倒、海が荒れてドローンを避難させた、など毎回失敗理由が違っていた。

2020年のFalcon 9機体運用状況												
機体No.	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1046	(CD Abort Test)(4回目)											
1048			▲L5	5回目で回収失敗								
1049	●L2					●L7		●L10			●L15	
1051	●L3			●L6				●L9		●L13		●SXM
1056		▲L4	4回目で回収失敗									
1058				●CD DM2	●ANASIS			●L12		●D21		
1059			●D20		●L8		●SAOCOM				●NRO	
1060					●GPS3-3		●L11	●L14				
1061										●CD1(野口)		
1062										●GPS3-4		
1063										●Jason		
打上げ 数小計	2	1	2	1	1	3	1	3	1	3	4	3

2021年のFalcon 9機体運用状況及び計画

機体No.	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
1049		L17(8回目予定)										
1051	●L16(8回目)											
1058	●R1(5回目)											
1059		●L19(6回目で回収失敗)										
1060	●Turk sat 5A	●L18(5回目)										
1061				CD2(星出)								
1062												
1063						DART						
TBD			L20,L21		D22	Turk sat 5B		D23	4月以降、L22-L28、GPS3-5,3-6 O3b、NRO、USSF、SXM 8、など28回			
打上げ 数小計	3	2										40(見込み)

まだ失敗続きだが…Starshipは実現するか？

- FalconやDragonをすべて置き換える計画。
- 最大100人搭乗の有人宇宙船を打上げ。
- LEO150t(Saturn Vの118tを上回る)
- Super HeavyはLEO250t



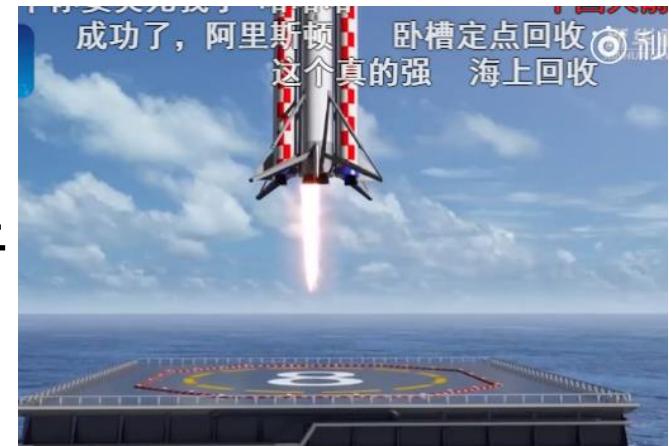
@テキサス州ボカラチカ

再使用型の開発競争が始まっている

- ①NZ ロケットラブ社はエレクトロンロケット1段機体をヘリコプターで捕獲し、海に浮かべて回収船で回収することに成功→将来的にはヘリで回収船へ直接輸送。
- ②中国 長征8型はスペースXとよく似た方式で1段機体の回収を行う。
- ③ロシア 2020年から再使用型のアンガラ5VMロケットの開発を開始。
- ④欧州 再使用型ロケット「Themis」のエンジン(Prometheus)をアリアングループが開発中。Themisは2023年打上げ目標。
- ⑤日本 仏CNES・独DLRと共同で小型実験機「RV-X」を用いた研究を実施中。

中国の商業打上げの主力となる 1段再使用可能な長征8型

- 「長征8型」は「長征7型」の1段目（補助ブースターは長征6型2基）と「長征3B型」の第3段（YF75エンジン2機搭載）を組み合わせたロケットで、文昌射場から極軌道に4.5トンの打ち上げ能力を有する。2020年12月に初打ち上げ成功。YF75は長征5型の第2段にも用いている。
- 1段機体の再使用のために、着陸脚を展開してドローンに着地する方式を採用。



再使用型にチェンジできない既成勢力

- ・ 米国 Boeing(デルタ) + LM(アトラス) → ULA(両機種による打上げサービス)。
- ・ ロシア ソユーズが依然主力。プロトン→アンガラ、ソユーズ→アムールへの移行。
- ・ 中国 長征旧系列(2-4型)、新系列(5-7型)を運用。
- ・ 欧州 アリアン5→アリアン6。
- ・ 日本 H-2A→H-3(今年「だいち3号」打上げ予定)。
- ・ NZ エレクトロンを米国からも打上げ。

→当分はスペースXのシェアが急速に拡大、中国は長征8型(長征3と長征7の組み合わせ)で猛追なるか?

中国とスペースXの共通点

1. カリスマ的な指導者の下で従事者が持てる力を発揮する。
2. 何回失敗しても成功するまで挑戦する。
3. 「選択の自由」(フリードマンが提唱)を駆使。中国は自力更生の意味を変化させ、外国製品を利用することも自力更生だとしている。
4. 失敗もあるが成功率は高く、無駄が少ない。
5. ともに有人火星着陸を視野に入れている。

北京理工大学がスペースXの輸送により ISSで宇宙実験を実施

- 2017年6月3日打上げのスペースX社の「ドラゴン CRS-11」貨物輸送船に北京理工大学が開発したDNA分析装置「宇宙環境下で、PCR反応におけるDNAミスコーディング法則を研究する科学ペイロード」が搭載され、実験試料の洋上回収に成功した。
- 米国政府はNASAが中国と協力することを規制しているが、規制を受けない民間レベルであれば協力可能であることを示した。
- 外国の力を借りてでも、キー技術を獲得して国際的な分業体制の中で主導権を握ることが戦略的に重要。
- 中国は外国の協力も得ながら自国の飛躍的な発展の姿をオープンな姿勢で世界に実力を示すことにより、スペースX社を追走する能力を持つ、国際的な宇宙開発のリーダーの地位を確保することを目指すだろう。



中国の着陸技術に関するまとめ

- 中国は偵察衛星「**FSW**」で着陸での予定外の事態が起こっても沈着に対応し、着陸技術を向上させた。
- 1999年から有人宇宙船「**神舟**」の試験を開始し、2003年に「神舟5号」で最初の宇宙飛行士を打ち上げ、帰還に成功。着陸場は内蒙古の「四子王旗」。
- 2013年に「**嫦娥3号**」で月着陸に成功。2018年に「嫦娥4号」を打ち上げ、月の裏側（電波が直接届かない）に着陸。「鵠橋」がEML-2点でデータ中継。
- 5月に「**天問1号**」が火星着陸に挑戦。
- スペースX社の再使用型ロケットに啓発され、商業打上げ用の**長征8型**の1段機体の再使用を可能にする計画。洋上のドローンに垂直着地。

4. 2049年中華人民共和国建国100年までの道筋を予測

- (1) 2025年までに全面的な小康社会の構築と宇宙インフラの整備を完了。
- (2) 2022年以降、宇宙ステーションの恒久的な運用で多くの国の宇宙飛行士を搭乗させる。日本も可能性あり。
- (3) 「嫦娥6号」、「嫦娥7号」、「嫦娥8号」で月着陸やサンプル回収はごく当たり前のことになる。月で水を発見？
- (4) さらに月面有人基地構築を目指す。その場合、米露欧日などとともに国際協力で行うか、または独力で構築するかが世界史的な岐路になる。
- (5) 長征8型ロケットが再使用可能で国内外衛星打上げの主力になる。「スペースXに対抗できるのは中国だけ」という世界2強時代になる。CASCの存在感が高まる。
- (6) 金星や木星に向けて探査機を打ち上げるようになる。
- (7) 2050年頃の火星有人着陸を目指す。どこまで準備できるか？

おわりに

- ・ 中国はこれまでロシアや欧州に教わって実力を高めてきたが、近年は世界初という技術を次々に見せつけており、既に欧州やロシアでは追いつけないレベルに達している。
- ・ 現在の最強のライバルは米国のスペースX社。
- ・ これからは世界との競争と協調で月や火星の有人探査に挑む。
- ・ 特に米スペースX社との協力が成立すれば、世界史的な岐路になる可能性もある。

ご清聴ありがとうございました。

- 内容に関するご質問はメールで受け付けます。

ttsujino@jcom.home.ne.jp

世界の衛星打上げデータを「宇宙切手の展示室」に隨時掲載しています。

<http://spacephila.jp/>

中国の宇宙開発のページ

<http://spacephila.jp/china.htm>

本講演の投影資料

<http://www.spacephila.jp/JST2021.pdf>