

## 資料13-2

研究開発局宇宙開発利用課  
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検討会  
(第13回) R4.2.8

# 商業軌道輸送サービス(COTS)プログラムについて

令和4年2月8日

(国研)宇宙航空研究開発機構

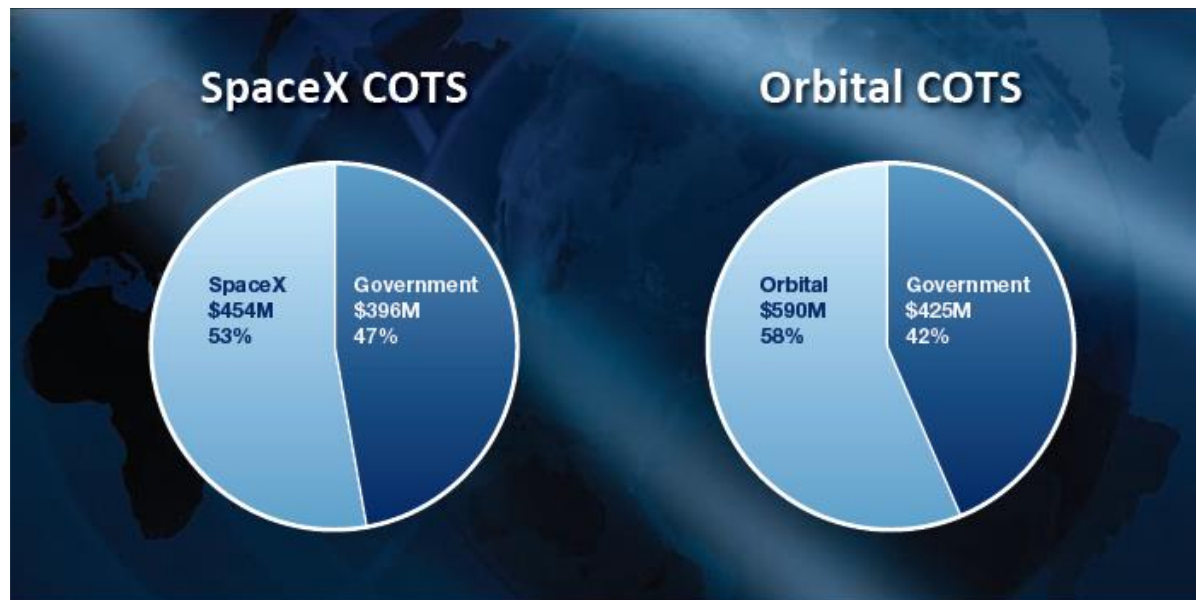
# COTSプログラム概要

- NASAのC3PO (Commercial Crew and Cargo Program Office)は、安全で信頼性が高く、費用対効果の高い宇宙輸送機能を開発および実証するための民間事業者の取り組みを刺激するために、財政的および技術的リソースを投資。C3POにおいて、COTS (Commercial Orbital Transportation Services: 商業軌道輸送サービス、補給サービスを行うシステム、機体などの開発)、CRS (Commercial Resupply Services: 商業補給サービス、義務的な契約となるため、契約者は計画の失敗時には責任を有する)、更にCCDev (Commercial Crew Development: 商業乗員輸送開発、国際宇宙ステーションのクルーの交代サービスを行うための商業有人宇宙機だけの開発)の3つのプログラムを管理。
- 2006年から2013年まで、COTSプログラムの下で、NASAは宇宙輸送業界の3つの企業とともに、投資家とアドバイザーの役割を務め、人類探査のフロンティアにおける米国の宇宙輸送能力の開発を促進。
- 総額約8億ドル(当初計画5億ドル、追加資金3億ドル)のプログラムであり、本契約を通してSpaceX社のDragon宇宙船およびOrbital Sciences社(現Northrop Grumman社)のCygnus宇宙船が開発され、民間企業によるISSへの輸送サービスが実現。

# COTS結果と成果

- COTSにおけるSpaceXとOrbital Sciences社の投資金額の内訳は以下の通り。
  - 総額の約45%が政府支出であり、残りは民間企業による自社投資となっている。
  - NASAの試算によると、Falcon 9を従来通り開発した際には、約4.4～40億ドル程度要すると見込まれており、実際の政府支出は予測値を大幅に下回っている。
  - COTSを通して官民合計で10億ドル以上の投資が為されたため、米国航空宇宙業界における雇用創出にも大きく貢献した。
 

例：Orbital Sciences社が使用する射場で約76億ドルの直接的な経済効果があり、3万人の雇用が創出された。
- COTSは当初より商業打ち上げ市場環境の構築も視野に入れており、結果的にCOTSを通して構築した輸送能力において、SpaceX等は商業打ち上げ市場で大きなシェアを獲得している。



# COTSとは

- NASAの商業軌道輸送サービス(Commercial Orbital Transportation Services, COTS)は、国際宇宙ステーション (ISS) への民間企業による輸送サービスプログラムである。
- 2004年、ブッシュ大統領の宇宙探査ビジョンにおいて、民間事業者はスペースシャトル退役後の LEOへの輸送を担い、NASAは深宇宙への輸送機を開発するとされた。(その後、議会では2004年12月23日 Commercial Space Launch Amendments Actを制定。)
- これを契機に、NASAは、1920年代の航空郵便の振興政策を参考に、COTSを検討した。
- NASAが公募した内容は次のとおり。

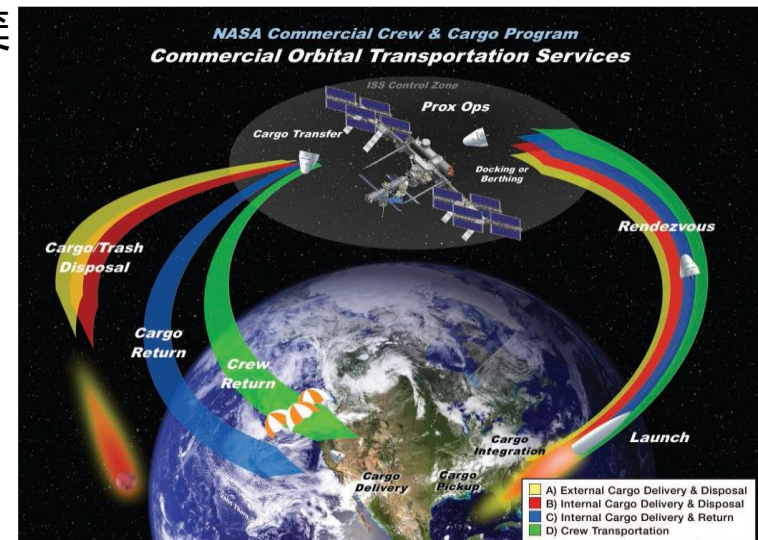
A: 曝露型貨物のISSへの輸送・ISS分離後の廃棄

B: 与圧型貨物のISSへの輸送・ISS分離後の廃棄

C: 与圧型貨物のISSへの輸送・帰還

D: クルーのISSへの輸送・帰還

- 商業軌道輸送サービスは、2つに大別される
  - COTS
    - 民間事業者による研究開発・能力獲得
  - CRS (Commercial Resupply Service)
    - 実証された民間サービスの調達



## 2. 主要概念

- ① 地球周回低軌道(LEO)の運用は、民間事業者にゆだねる方針
  - LEOのルーティン活動は民間に任せ、NASAは探査、科学研究、技術開発に特化
- ② 政府の投資を限定的にする
  - 政府の補助は必要だが、政府の投資は限定し、民間の投資を含めた開発・運用
  - これにより、民間事業者が全体資金の半分以上を負担した(COTS予算は8億ドル)
- ③ 宇宙機ではなく、サービスを購入
  - 従来のような宇宙機の納入ではなく、サービスを購入する(1998年商業宇宙法)
  - これにより、民間事業者の裁量を拡大し、コストを下げる
- ④ 成果重視の確定契約
  - 計画遅延に追加経費を払う方式から、追加業務は民間責とすることで企業側のインセンティブを引き出す
- ⑤ 「調達契約」でないアプローチ(パートナーとしてのアプローチ)
  - 連邦調達規則に則った厳密なNASAの監督を要する手続きを適用しないことで、中小・ベンチャー企業も参加しやすく、イノベーションを起こしやすい環境を整えた。

# 3. 民間事業者の選定

## 1. 公募条件 (Round1)

- 米国資本50%以上の民間事業者
- Capability A～D提案様式を設定。
- 事業者は、独自のニーズ、マイルストーンをもとに、契約書の修正を要求できる。
- 技術要求を課さず、クリエイティブな提案を求める。

## 2. 評価体制： 技術(6名)、事業(6名)、資金(3名)の評価パネル(PEP)を設置。

## 3. 提案

- 伝統企業からNew Spaceまで、20社・21提案を受領。予備レビュー後、18提案通過。
- 第一段階では実現可能性と、要求期間中のサービス継続可能性を評価。
- 公平の観点から、過去の実績は問わず、事業計画、マネジメント含むリーダーとしての実績を評価。
- 伝統的な点数評価ではなく、各評価項目を5段階評価し、トレードオフ。

## 4. ファイナリストの選定

- 内外関係者、ビジネスコンサルの意見を取り入れ、総額、能力、事業・技術リスク、潜在市場を考慮し、ファイナリスト6者を選定(すべてNewSpace)
- ファイナリストは、デューデリジェンスとして、評価委員会が事業者の設備を視察し、社員と直接相対。
- 契約交渉も実施。その過程で、企業が自己の事業計画、技術、資金プランを改善し、評価を調整。

## 5. 最終決定

- 最終2日間、各ファイナリストは、2名体制でNASAにプレゼン。
- 技術的な実現可能性と、固い資金調達、事業計画の観点で、SpaceXが最も有力とされた。
- ほか、RpKとSpaceDevの2社に絞られ、資金は弱いですが、再使用の技術プランをもつRpKが選定された。

## 4. COTSの契約条件

大企業だけでなく、中小企業にも機会を提供できるよう商業的に親和性のある設計を行った。また、NASAからの要求は最低限とし、企業側の独創的な提案を促進した。

- 契約の目的物
  - 宇宙機の納入ではなく、飛行実証により能力を示すこと。
- Firm Fixed Price契約・原価計算方式の不適用
  - 伝統的な実費精算方式ではなく、成果報酬型・追加経費を認めない確定契約として、NASAの資金リスクを大幅に低減し、事業者のコスト意識を高めた。
- NASAの免責
  - NASAは事業者に対し損害賠償義務等は要求しない。
  - 事業者に対し、保険付保を勧めた。
- 知的財産
  - 従来政府調達では、知財は政府保有だったが、COTSではほぼ事業者帰属として管理され、NASAは事業者に対し、秘密保持義務を負っていた。
- パートナーシップの保証
  - NASA側自由に契約を解除できる要件に制約をかけ、企業が安心して参加できる環境を構築

## 5. NASAの要求と達成状況の確認

- NASAは方法論を指定しないよう、マイルストーン審査を実施。
- マイルストーン達成基準は直前まで決められないことを想定し、RFP時はマイルストーン審査の評価項目等は契約書上、記載がなかった。また、当初、故意にあいまいな項目を設け、事業者選定時の事業者との対話を通じて、マイルストーンを詳細化した。エンジン燃焼試験などはかなり簡単に確認できる項目を設けた。
- マイルストーン審査は、システム要求、基礎設計、詳細設計、飛行実証等の主な審査会に則っており、NASAの標準的な手続きであるシステムエンジニアリングプロセスがテーラリングされたものが適用された。
- 典型的なマイルストーン審査では、2～3週間かけてC3POとアドバイザーがReview Item Discrepancy (RID)を提出し、外部コンサルタントも入れ、2～3日かけてRIDを600以下に絞り込み、事業者に提出した。RIDは、ソートしやすく、効果的に優先度合いを把握しやすいよう整理された。
- 審査に当たって、事業者は、サブシステムやリーディングリストを整理し、RIDリストの項目に対して対応、追加情報を提供を行った。

*Example Template 2*

Company Name:

Capability:

Milestone Number	Planned Date	Milestone Description	NASA Contribution	Section B2.D. Reference
X	11/31/2005	Test ABC	\$100	Page #
1				
2				
3				
Total NASA COTS Demo Contribution			0	



# Space Xにおけるマイルストーンスケジュール

## SpaceX COTS Milestones



Milestones	\$M	SM	2006		2007				2008				2009				2010				2011				2012				
			Total	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
1 Project Mgmt Plan	278.0																												
2 Demo 1 SRR	5.0	28.1																											
3 Demo 1 PDR	18.1	46.2																											
4 Financing Round 1	10.0	56.2																											
5 Demo 2 SRR	31.1	87.4																											
6 Demo 1 CDR	8.1	95.5																											
7 Demo 3 SRR	22.3	117.8																											
8 Demo 2 PDR	21.1	139.0																											
9 Draco Init. Hot fire	6.0	145.0																											
10 Financing Round 2	10.0	155.0																											
11 Demo 3 PDR	22.0	177.0																											
12 Multi-Engine Test	22.0	199.0																											
13 Demo 2/3 CDR	25.0	224.0																											
14 Financing Round 3	10.0	234.0																											
15 Demo 1 RR	5.0	239.0																											
16 CUCU Flight Unit	9.0	248.0																											
17 Demo 1 Mission	5.0	253.0																											
18 Demo 2 RR	5.0	258.0																											
19 Demo 2 Mission	5.0	263.0																											
20 Cargo Int. Demo	5.0	268.0																											
21 Demo 3 RR	5.0	273.0																											
22 Demo 3 Mission	5.0	278.0																											



# Space Xにおけるマイルストーンスケジュール（追加資金後）

## SpaceX Augmented COTS Milestones



Milestones	SM	\$M	2006		2007				2008				2009				2010				2011				2012			
			Total	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3
	118.0																											
23 Modal Test Plan	5.0	5.0																		Dec 16								
24 Modal Test	5.0	10.0																		Dec 16								
25 LIDAR Test (open loop)	5.0	15.0																		Dec 16								
26 Solar Array Deploy Test	5.0	20.0																		Dec 16								
27 LIDAR Test Plan (closed loop)	5.0	25.0																					Mar 31					
28 Thermal Vacuum Test Plan	5.0	30.0																		Mar			Apr 6					
29 Infrastructure Plan	10.0	40.0																		Mar			May 10					
30 Thermal Vacuum Test	20.0	60.0																					Jul			Sep 14		
31 Test site Infrastructure Implementation	5.0	65.0																								Jun 23		
32 Dragon Trunk Acoustic Test	10.0	75.0																								Jun 23		
33 LIDAR Test 6 DOF (closed loop)	5.0	80.0																					Aug			Oct 26		
34 Design Rev. Enhanced Powered Cargo Accom.	5.0	85.0																								Aug 24		
35 Design Rev. Pressurized Cargo Vol Increase	5.0	90.0																								Aug 24		
36 Dragon EMI/EMC Test (HITL)	10.0	100.0																					Jul			Sep 20		
37 Dragon Cargo Racks & Hatch Simulator	3.0	103.0																								Aug 26		
38 Ground Demo Enhanced Powered Cargo	5.0	108.0																					Sep			Oct 26		
39 Launch site Infrastructure Implementation	5.0	113.0																					Sep			Oct 26		
40 Production Infrastructure Implementation	5.0	118.0																					Sep			Oct 26		
<b>SAA Total</b>	<b>396.0</b>	<b>396.0</b>																										

Amended SAA Plan  
 Actual Completion Date

Initial SAA Plan

## 6. 組織・運営

- 組織概要

- NASAでは、C3PO (Commercial Crew & Cargo Program Office) がCOTSを担った。
- C3POは最大14名。COTS Advisory Team (CAT)と呼ばれる必要に応じ随時NASAないから必要な人材を集めて組成するチームを活用することで、無駄のない組織を構成

- COTS Advisory Team (CAT)

- 役割は次のとおり。
  - NASAの技術を民間事業者に伝える
  - 民間事業者がNASAの要求を達成したか、マイルストーン毎の審査・検証作業
- 技術エキスパートが必要になったときは分野ごとにNASAの専門家が選出され、COTSサポートのための時間を与えられた。
- メンバー選出は、C3POとともに働いたことがあり、COTSに面白みを感じている人物を優先的に当たり、NASAの各センターに求人窓口を設けて対応。結果、30以上のサブシステム領域、100名以上のエンジニアが協力。OB/OGも協力した。

- 広報

COTSが従来の調達アプローチと異なることを広く産業界と一般に認知されるよう、初期段階での広報に配慮。

## 7. NASA内部の当初反応とリスク対応

- NASA内部では、誰も成功すると考えていなかった（ D. A. Stone, C3POマネージャ）
  - *“high-risk” contingency to see what industry was capable of developing.*  
 (W. H. Gerstenmaier, NASA宇宙運用ミッション局副局長)
  - *“side bet” or “back burner” option especially because of a relatively limited NASA’s funding.*  
 (JSCの多くのエンジニア) : 不利な賭け、二の次



- NASA C3POにおけるリスク対応 (D. A. Stone, C3POマネージャ)
  - NASAが宇宙機開発に関与しないことから、民間事業者は二者選定する
  - 二者とも失敗した場合は、NASAが開発中のOrionを利用する
  - これにより、民間事業者の開発に対し、個別確認を最低限にすることと、リスクをヘッジすることのバランスをとった。

## 8. COTS Lessons Learned

COTS Lessons Learned for Commercial Capability Development Partnerships ,April 2017, NASA より抜粋

### (1) 資金調達課題

- 金融市場の投資家は、投資に対する確実なリターンなしで、このハイリスクベンチャーを引き受ける気がなかった。この懸念は、NASAがISS商業補給サービス契約に備えて業界からRFIを受け取ったとき、企業投資が必要なほとんどの企業によって表明された。
- NASAは、企業のサービスを調達することを約束しない限り、企業が金融市場から資金を調達することを期待すべきではない。NASAは、選定企業が能力実証に成功した場合、継続するサービス調達契約が提供されることを保証する必要がある。

### (2) ハードウェアおよびソフトウェアの成果物の転用への対応

- COTS宇宙活動協定の下で政府の開発済み機器を提供する法的権限をNASAは保持していないこと及びこの協定のもとパートナーから成果物を受け取る権限も保持していなかった。例えば、NASAは、SpaceXが開発した通信ユニットが、オリオンプロジェクトやおそらく他の宇宙船に活用できた可能性があった。
- ハードウェアおよびソフトウェアの成果物を明確に識別し、COTS宇宙活動協定の下で、成果物の転用に対応するための適切な法的な対処を実施する必要がある。

### (3) サービス予測価格からの上昇

- COTSでのサービス予測価格から、最終的な調達サービス価格で、価格が大幅に上昇した。上昇は、追加要求が原因である可能性や最初の提案以来、実際のコストから予想コストをより正確に反映したことがある。COTSの提案で予測価格は拘束力を持たないため、評価チームは、選択基準の一部として使用される場合、これらの価格の大きな不確実性範囲を考慮する必要がある。