

ISSの商業化／民営化の現状

2021年9月

有人宇宙システム（株）

佐藤巨光

1. ISSの商業利用例
2. 欧米のLEO/ISS商業化動向
3. ISS商業ミッション契約について
4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

1. ISSの商業利用例

2021年度は民間宇宙旅行が本格化



<https://jp.sputniknews.com/science/202011127930917/>

ISSに向かう初の民間有人ミッションとなる「Axiom Mission 1 (アクシオム・ミッション1)」が2022年1月に計画。搭乗は、カナダ人、米国人、イスラエル人の3名で、これをAxiom Spaceの副社長で、元NASA宇宙飛行士が率いる。ISS滞在は8日間予定。

ロシア、ソユーズ搭乗の宇宙旅行を45億円で再開へ



Credit: NASA

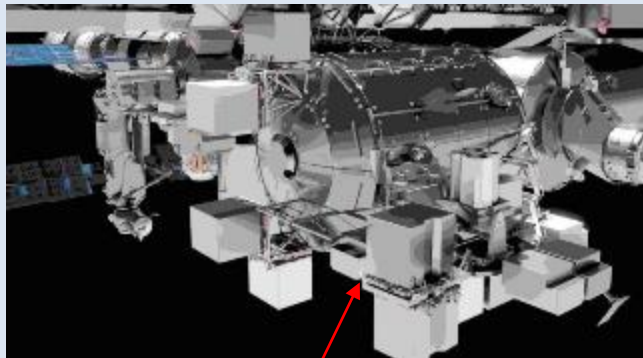
<https://news.yahoo.co.jp/byline/akiyamaayano/20191227-00156622>

ZOZO創業者の前澤友作氏が同乗者1名と共に、ソユーズ宇宙船に搭乗して、日本の民間人として初めてISSに滞在予定。打上は2021年12月8日で、滞在期間は約12日間の計画。

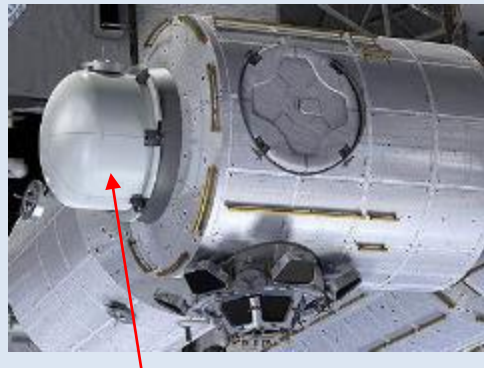
1. ISSの商業利用例

民間企業による自社インフラがISSに設置され、サービス提供

大型インフラ



Bartolomeo (Airbus)

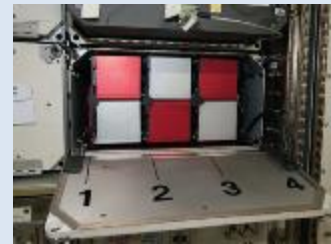


Bishop (NanoRacks)

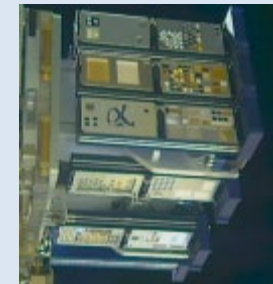
多目的ラック



ICF (Space Apps)



TangoLab (Space Tango)



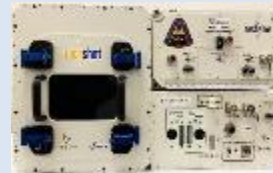
MISSE (Alpha Space)

曝露部

実験装置 (TechShot)



製造装置



3Dバイオプリンタ (TechShot)



3Dプリンタ (MIS)

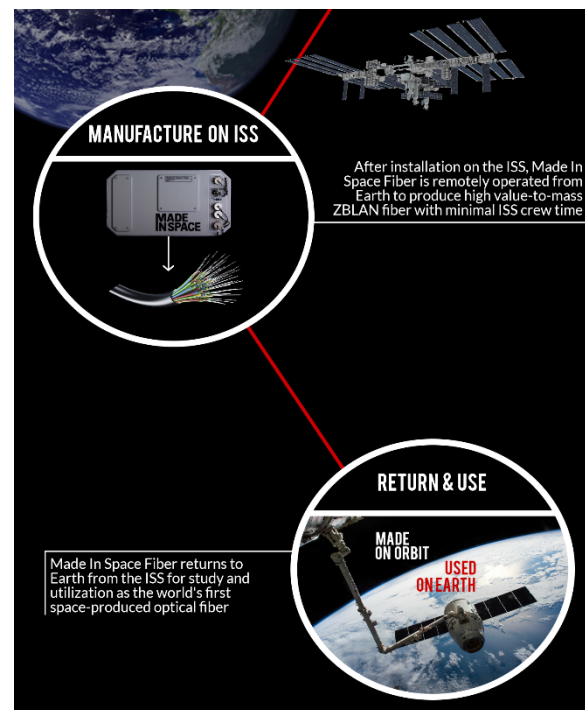


光ファイバー製造 (MIS)

Made In Space to Demonstrate Manufacture of Exotic Optical Fiber in Space

A close-up of a grey metal control panel. On the left is a vertical rectangular slot. In the center is a square label with the text "Made In Space Fiber" and "P.O. 21-0000-000" and "020-001". On the right side, there are several ports and controls: a "POWER II" port with a circular connector and a chain, a "SERIAL" port with a D-sub connector, a "DATA II" port with a blue D-sub connector, and three "DATA II" ports with circular connectors and chains. The text "MADE IN SPACE" is printed in large, bold, black letters at the bottom.

<http://www.parabolicarc.com/2016/07/19/space-demonstrate-manufacture-exotic-optical-fiber-space/>



- ◆ 米国宇宙ベンチャー企業(Made in Space)が、国際宇宙ステーション(ISS)にて、ZBLAN光ファイバーの製造実証試験を実施(2018年1月、4月)。伝送劣化につながる結晶化が起こらず、期待通りの成果を確認したとの話。他にも実証を計画しているベンチャーあり。
- ◆ 地上の重力環境では実現困難なフッ化物光ファイバーの品質向上を期待。1990年代に行われたNASAの研究成果に基づく。
- ◆ 高性能のZBLAN光ファイバーにより伝送効率が飛躍的に向上し、長距離伝送を途中の増幅器なしで設置できるとの見込み。(これにより、宇宙生産の割高さと相殺できるとの考え)

1. ISSの商業利用例

宇宙で臓器製造



- ◆ 米国宇宙企業のTechShotはISSでの3Dバイオプリンタの技術実証を計画。
- ◆ プリントボリュームは100 mm x 100 mm x 50 mm
- ◆ 微小重力環境では3D構造を作りやすいという利点あり(低粘性のバイオインクを使える)。
- ◆ 軌道上実証を経て、宇宙での細胞培養、ひいては臓器全体の製造を目指す。

<http://www.techshot.com/documents/3D%20Tissue%20Printer.pdf>

CASIS17_68_FY17_AR_AwardedProjects

First On-orbit Experience with the TechShot Bio Fabrication Facility (ISSR&D2919)

1. ISSの商業利用例

大量の超小型衛星で地球を観測

- ◆ 米国企業のPLANET社はISSより超小型衛星を放出し、地球低軌道上(～400km)に小型衛星コンステレーションを形成。
- ◆ 大量の超小型衛星(10cm×10cm×30cm)で地球上のあらゆる場所をほぼ毎日撮影可能とした。
- ◆ PLANET社は撮影した画像を販売するサービスを提供中。



**PLANET
MONITORING**

See Everywhere. Frequently.

※PLANET社の超小型衛星はISSからの放出だけではなく、ロケットで打ち上げられるものもある。

<https://www.planet.com/>



1. ISSの商業利用例

◆ ISSに自立化を意図した商業モジュール設置開始(2025年~)



JAMSSとAxiom Space社はAxiom商業モジュールを使った事業で協業を進めることに合意



<https://www.nasaspaceflight.com/2020/01/nasa-axiom-space-build-commercial-station-segment/>

1. ISSの商業利用例

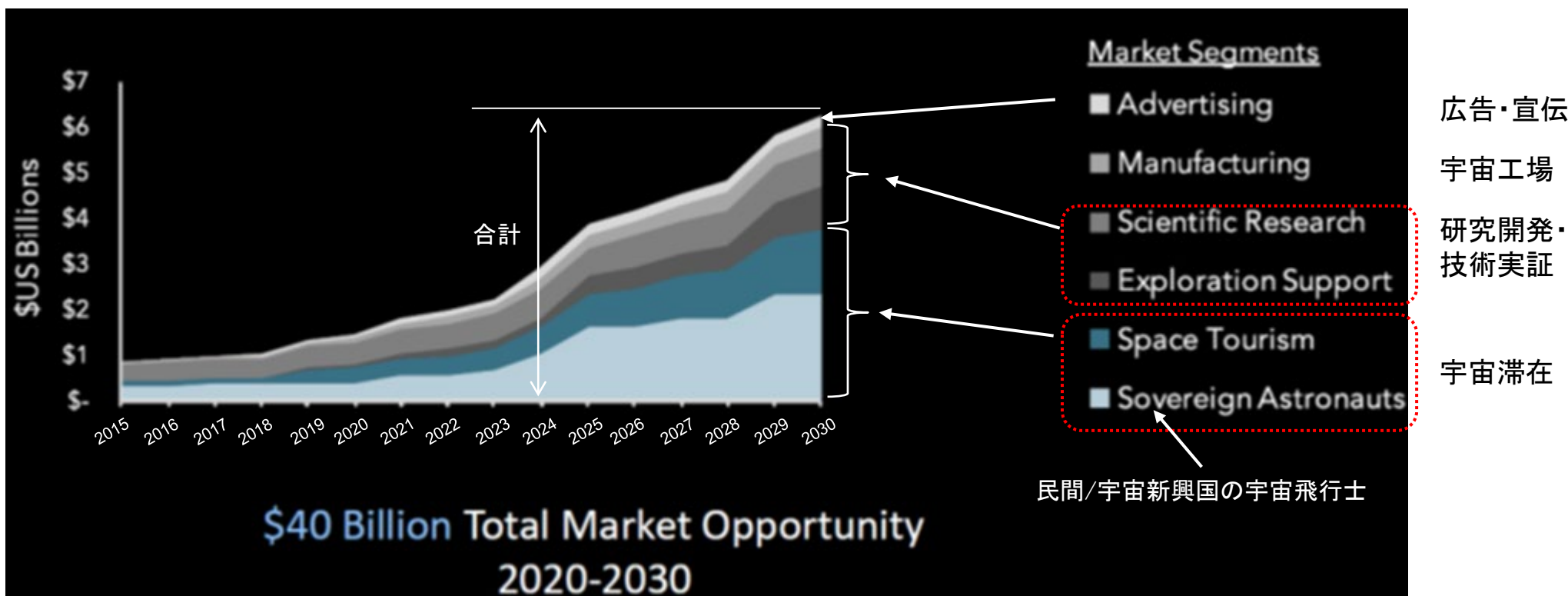
◆ ISS退役後は商業宇宙ステーションの時代へ



Axiom Space社HPより

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

米国における LEO (地球低軌道) 市場の動向を見ると、利用ニーズは、宇宙滞在関連を中心に有人プラットフォームを活用した利用需要が大きく見込まれている事が、シンポジウム等で報告されている。



(Courtesy of Axiom Space, LLC)

2016年調査

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

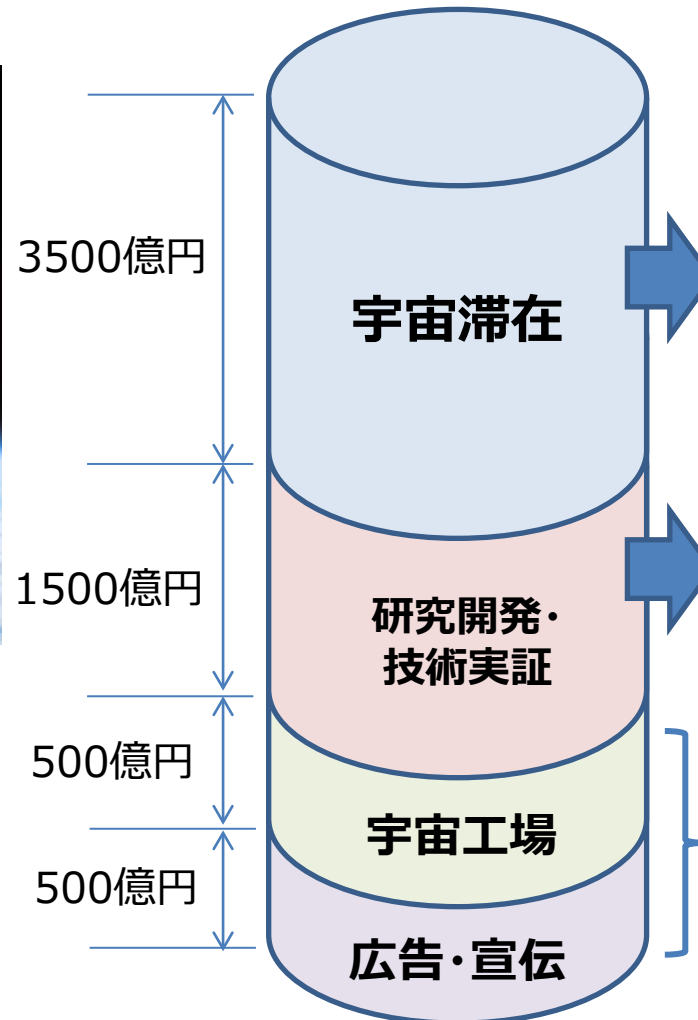
LEO市場構図：規模が何に比例するかは、最終顧客タイプにより異なる



2030年のLEO経済圏 市場予測

(右図数字は概算)

出典：Axiom Space社



宇宙滞在者数に比例：

市場規模は大きいものの、その多くは輸送費用と推測される。IDA(The Institute for Defense Analysis)は、輸送コストを除いた滞在費を12日間で**4億円／人**程度(消耗品除く)と見ており、滞在にかけられる費用は限られる。

国の予算規模に比例：

各国宇宙機関・研究機関をアンカーテナントとする。基礎研究に加え、探査の技術実証も行う。各国が**宇宙飛行士を派遣する大義**になると思われる。

地上産業規模に比例：

宇宙環境が**有用な範囲**において様々な業界により活用される。宇宙工場には宇宙創薬を含む。広告・宣伝市場は未発達だが、商業化に伴い、ブランディングの場として活用される見込み

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

ISS計画に伴う、米国の宇宙商業化促進の動き

政府レベル

商業宇宙法1998 “ISS建設の優先目標は地球軌道空間における経済開発” **CASISを選択、運営開始(2011～)**

NASA授權法2005 “ISSの半分(米国分)をナショナルラボ（共同利用研究施設）と指定”

国家宇宙政策2006 “拡大しつつある、起業家の民間宇宙セクターを奨励・促進する”

宇宙機関レベル

→ 商業貨物輸送機開発助成(2006～) → ISS貨物補給機就航(2012～)

→ 商業有人往還機開発助成(2009～) → ISS有人往還機就航(2020～)

アクセス

NASA授權法2010 “ISSを2020年まで延長。ナショナルラボ運営をNGOに委託せよ”

国家宇宙政策2010 “新市場と革新的起業家精神を生み出す、米国のリーダーシップを増進させる米国民間宇宙セクターの成長を奨励・促進する”

2014 NASA意見公募(RFI) “ISSを進化させて、LEO商業市場に”

分析結果： 需要喚起／技術の移転／制度整備が必要

NASA移行授權法2017 “LEO民活を促進し、NASAは「多くの顧客の一人」に移行せよ”

2018 NASA研究調査公募 “LEO商業化の検討”．．12社で4ヶ月スタディ

2019.6 「NASA商業LEO開発計画」イベント@NYSE

軌道インフラ

国家宇宙政策2020 “新市場の創出と革新主導の起業家精神における米国のリーダーシップを増進させる米国民間宇宙セクターの成長の奨励・促進を継続する”

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

NASA商業LEO開発プログラム(2019.6～)

取り組み／ステータス (2021年8月現在)

- ① ISS商業利用及び価格ポリシーを制定 / 2021年4月にPAM用（実費支弁原則）を追加公表
 - ✓ 打上げ費： 20K\$/Kg（営利目的）、R&D利用は無償を継続（JAXA有償利用は、30K\$/Kg）
- ② 民間宇宙飛行士ISS訪問ミッションを受け入れ / 2019年6月にISSNRAで募集開始
 - ✓ 2020年1月に、Axiom社を第1便業者を選定、（2022年1月飛行予定）
 - ✓ 2021年8月に、第2 / 3便業者の公募を締切（22年秋～23年末に打上げ予定）
- ③ 商業LEO拠点を民主導で開発するプロセスを開始
 - ③-1 ISS取付型・商業モジュール / 2020年1月にAxiom Space社の選定（\$140M\$/5年）
 - ✓ 2021年1月NASA契約#1&2をクリア、打上げ目標： 2024年末
 - ③-2 有人支援型フリーフライヤ / 2021年8月に提案公募締切、年内に複数社選定か。
 - ✓ LEO拠点開発・運用を官民協力（民主導・官支援）で、2020年台後半に打上げか。
- ④ 需要喚起する機会を追求
 - ✓ 需要刺激策提案で8社を選定（光ファイバー、合金、半導体材料、網膜移植、再生医療、等）
- ⑤ NASAの長期的LEO利用ニーズを数量化 / 2019年6月に第2版（定量化）を公表
 - * NASA宇宙飛行士の滞在（6か月x年2回以上）
 - * ヒト研究（探査ミッション模擬、1年滞在ミッション）
 - * 探査技術実証（長期滞在支援／環境制御、通信・電力・ロボティクス・製造・植物成長、等）
 - * 生物・物理科学研究（現在規模継続）
 - * LEOナショナルラボ（ISSナショナルラボの継続）

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

国際宇宙ステーション計画の成熟期（方向性）

認識：国際宇宙ステーションは、幅広い研究分野・領域と探査技術開発のプラットフォームとしての価値を証明してきた。

新しい方向性（NASA）： 官民の新しいビジネス関係を目指す。

旧) 政府が資金を出し、請負業者が商品やサービスの提供を受ける従来のパラダイム

新) 政府（および民間）が顧客となって商業的に提供されているものを、購入するアプローチ

→ 商業サービスプロバイダーの育成 （2020年現在、10+社
（官民の顧客に、軌道施設を利用する独自のサービスを販売）

NASAは民間事業者と“競合”しないことを明言

NASA is restricted from competing with the U.S. private sector; therefore, if, at any point, a U.S. entity is available to provide any of these resources, NASA shall, to the best of its ability, migrate the provision of such services to the non-U.S. government provider.

<https://www.nasa.gov/leo-economy/commercial-use/pricing-policy>

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

Commercial Service Providers on the ISS

NanoRacks: Internal & External platforms; satellite deployers; Bishop Airlock



Teledyne Brown Engineering: External precision pointing platform



HNu nanoPoint: Microfluidics cell culture platform



Alpha Space: External materials exposure platform



BioServe: Space Biology platforms and services



Space Tango: TangoLab space biology platform



Craig Technologies: satellite deployer



Techshot: Bone densitometer, centrifuge facility



Made In Space: Additive Manufacturing Facility



STaARS: Space Biology Platform



June 24, 2020 NASA資料

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

ESAも民間のサービスを購入してミッション実施

AIRBUS

Space

ESA books two payload missions on Airbus Bartolomeo platform

The first payload mission is ESA's Exobiology Platform (EXPO). This facility carries a set of radiation experiments aimed at better understanding the evolution of organic molecules and organisms in the space.

The second payload is the Euro Material Ageing experiment platform (SESAME), developed by the French Space Agency (CNES). This mission will study the ageing behaviour of new materials in space and will also make use of Bartolomeo's payload return option.

<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2021/01/esa-books-two-payload-missions-on-airbus-bartolomeo-platform.html>



2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

NASAは（純粋な）商業ミッション向けにサービス価格帯を提示

Pricing Policy Available for Commercial Activities associated with NRA NNJ13ZBG001N Focus Area 3			
Resource	Reimbursable Value	Annual ISS Resources	Maximum allowed per company per year
Upmass (Passive Cargo)	\$20,000 per kg	175 kg	50 kg/single CTBE ¹
Trash Disposal (Passive Cargo)	\$20,000 per kg	175 kg	50 kg
Downmass (Passive Cargo)	\$40,000 per kg	125 kg	35 kg
Conditioned Cargo (Round Trip)	\$90,000 per kg	Based on NASA availability	--
Powered Cargo (Round Trip)	\$120,000 per kg	Based on NASA availability	--
ISS Crew Time	\$130,000 per hr	90 hrs	25 hrs

¹In the form factor of single Cargo Transfer Bag Equivalent (CTBE). Unit for size of bag used to transport cargo from visiting vehicles, such as SpaceX, Northrop Grumman, or H-II Transfer Vehicle (HTV), to the International Space Station. Dimensions are 19 in x 16.25 in x 9 in (48.3 cm x 41.3 cm x 22.9 cm). Weight limit is 60 lbs (27.2 kg).

<https://www.nasa.gov/leo-economy/commercial-use/pricing-policy>

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

ISS/LEO商業化移行のパターン

移行アプローチ分類・用語定義

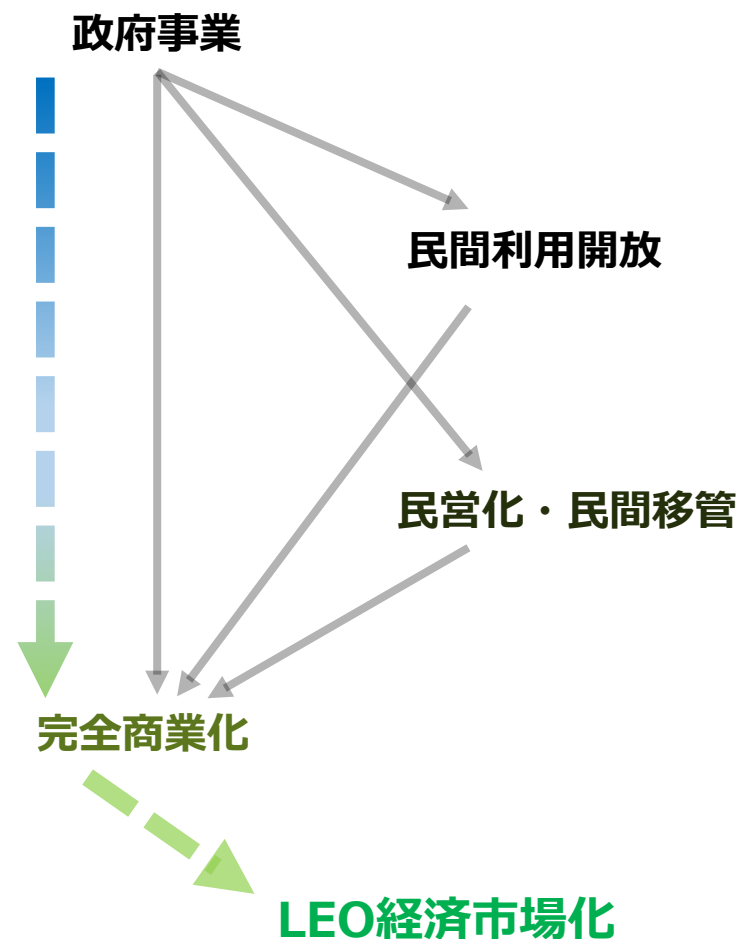
基盤施設・設備 →	所有 Ownership	運用 Operation	利用 Use
政府事業 Public	官 Public	官 Public	ほとんど官 Predominantly Public
民間利用開放 Commercial Utilization	官 Public	官 Public	官・民 Public/Private
民営化・民間移管 Privatization	官 Public	民 Private	官・民 Public/Private
完全商業化 Full Commercialization	民 Private	民 Private	官・民 Public/Private

所有： 基盤施設・設備を開発・整備し、所有する主体。官の経費は国家予算、また、民の経費は自己調達資金（利用料等で回収）

運用： 運用体制を整備して、運用を実施する主体。官の経費は国家予算、また、民の経費は自己調達資金（利用料等で回収）

利用： エンドユーザー（顧客）または利用サービスを販売する主体。官の経費は国家予算、また、民の経費は自己資金または利用料で回収

遷移パターン



2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

日米欧比較：LEO商業化移行のステータス

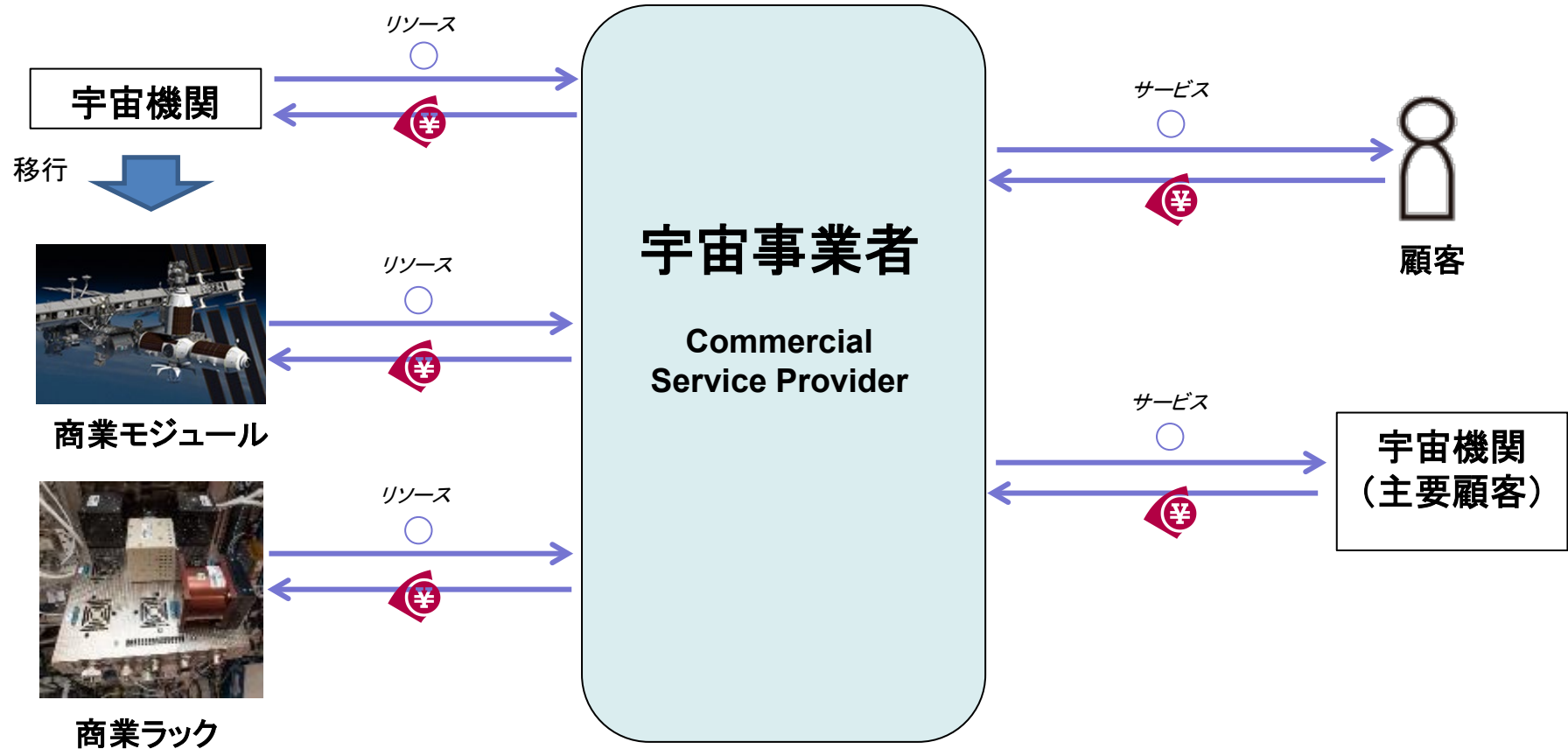
黒太字：ISS期（現状）、青太字：ポストISS期（構想）

分野	〔物資輸送〕	〔有人輸送〕
日本	HTVのISS補給は政府事業 ➡ ？	この能力獲得に乗り出していない
米国	完全商業化へ移行済 ➡ 完全商業化 2012/13年就航（SpaceX社、NG社） 2022年就航予定（SNC社）、 ISS補給は2024年分まで発注済	完全商業化へほぼ移行 ➡ 完全商業化 2020年就航（SpaceX社） 2022年就航予定（Boeing社）、 2024年分まで手配済み ISS訪問ミッション受け入れ（FY22～）
欧州	ATV燃料補給は政府事業（CNES） ➡ ？	この能力獲得に乗り出していない

分野	〔軌道上活動／インフラ〕（ISSレベル）	〔軌道上活動／利用〕（装置レベル）
日本	民間利用開放 ➡ ？（オプションを設定）	民営化・民間移管 ➡ ？
米国	民間利用開放 ➡ 完全商業化	
欧州	COLでは民間利用開放 ➡ 利用機会確保	一部商業化試行 ➡ ？

2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

民間でできるサービスは民間へ、宇宙機関は顧客としてサービス購入



2. 欧米のLEO/ISS商業化動向

一方、大型投資を可能とする宇宙業界の再編も進む

Redwire、宇宙空間用3DプリンタメーカーMADE IN SPACEを買収

アドコール・スペース社とディープ・スペース・システムズ社の合併により設立された宇宙関連企業 Redwire は、国際宇宙ステーション（以下 ISS）に搭載された世界初の3Dプリンタを開発した NASA傘下の米国ベンチャー MADE IN SPACE（以下 MIS）を買収したことを発表した。



<https://idarts.co.jp/3dp/made-in-space-acquired-redwire/>

ISSの商業利用に取り組むNanoracksがVoyager Space Holdingsの傘下へ

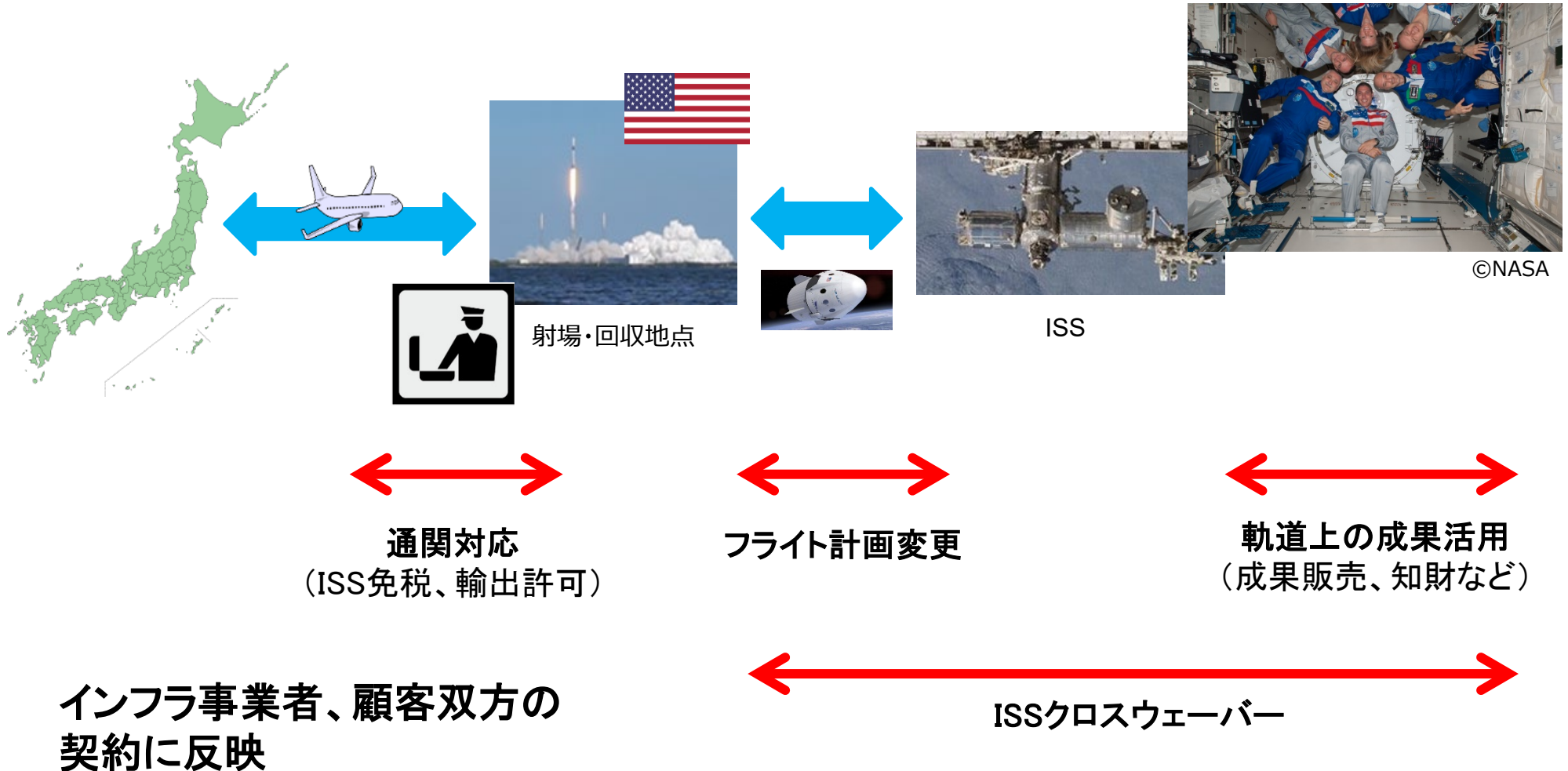
2019年以降、宇宙企業の買収を多数実施している Voyager Space Holdings が、国際宇宙ステーション（ISS）の商業利用事業に取り組む Nanoracks の親会社である X.O. Markets の過半数の株式を取得したことを発表しました。



<https://sorabatake.jp/17244/>

3. ISS商業ミッション契約について

ISS商業ミッション契約の主要ポイント:



3. ISS商業ミッション契約について

No	タイトル	現状	LEO商業化における課題	備考
1	ISSクロスウェーバー	打上～軌道上、回収に至る過程で発生した不具合等による損害は免責される。	宇宙事業者のリスク回避に寄与する一方、顧客にとっては瑕疵がないにも関わらず費用負担になり理不尽。保険を掛けると高額になる見込み。	以下URL参照 https://www.law.cornell.edu/cfr/text/48/1852.228-78
2	通関対応	NASAが窓口となって米国輸入時のISS免税、輸出許可に対応。	NASAが窓口にならない場合、ISS免税のような優遇処置が使えるか。	
3	フライト計画変更	打上計画変更(遅延など)による損害は免責される。	顧客側で宇宙ミッション成果活用の計画が立てにくい。	
4	軌道上の成果活用	ISS内で撮影された画像を商業目的で使用するのは制約あり。 宇宙から回収した物を販売目的で使用するのは困難。	ISS船内の映像を(宇宙旅行などの)商業プロモーション活動で使いにくい。 製品・サービスの制限になる。	軌道上で撮影した自社装置の写真はクレジット付きで使用可 純粋な商業ミッションはNASAが価格帯を提示

4. JAMSSのLEO商業化への取り組み



ISEF2サイドイベントJAMSSランチセッション
(2018年3月2日@恵比寿)



4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

民間初! 宇宙環境を利用した 高品質タンパク質結晶生成サービス “Kirara”

高品質タンパク質結晶生成サービス

Kirara

Space-made Protein Crystal

宇宙環境を利用して
お客様の創業研究を
支援します

宇宙の微小重力環境下では、対流や沈降の影響を受けないことで、地上より高品質なタンパク質結晶の生成が期待できます。

きれいなタンパク質結晶を生成
らくらくな実験環境で作成
フレキシブルな条件変更対応

お客様のニーズに合わせた納品形態

常温結晶 凍結結晶 X線回折データ

お申込み受付中

「Kirara」は、国際宇宙ステーション(ISS)の施設を使った、民間サービスです。

JAMSS
有人宇宙システム株式会社
100-0004 東京都千代田区大塚1-6-1 大塚ビル
TEL.03-3211-2000(Kirara営業部)

Kirara最新情報はHPをご覧ください▶▶

[Mail] jamss-kirara@jamss.co.jp
[HP] https://www.jamss.co.jp/kirara/

QRコード

MAR-2020

宇宙の微小重力環境下では対流や沈降の影響を受けないことで
地上より高品質なタンパク質結晶の生成が期待できます。

「Kirara」の特徴

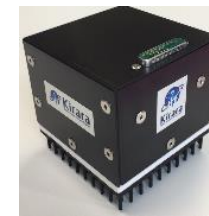
- ✓カウンターディフュージョン法 ✓20℃設定 ✓約1ヶ月の結晶化期間
- ✓96条件搭載可能 ✓中性子結晶解析用石英キャピラリーの選択が可能

「Kirara」の技術

- ✓ISSヨーロッパモジュール内に設置されたICE Cubes Facility に
当社独自開発の結晶化装置を搭載



ICE Cubes Facility



結晶化装置



結晶化チューブ

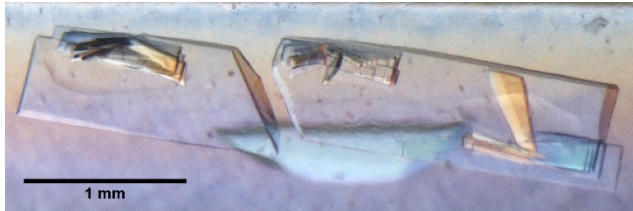
軌道上結晶化で期待できること

- | | |
|---------------|--------------|
| ✓ 結晶クラスター化の抑制 | ✓ 分解能の向上 |
| ✓ 異なる空間群の結晶生成 | ✓ 電子密度マップの改良 |

4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

「Kirara」の実施例

◆ 中性子解析用の大型結晶を作成し、分解能向上を確認



Kiraraで得られたPcCel6A 変異体の結晶

地上品: 最高分解能 1.23 Å, Mosaicity 0.075

宇宙品: 最高分解能 1.08 Å, Mosaicity 0.053

*実験速報値

*Int. J. Microgravity Sci. Appl. 38(1) 380103
(2021)*

◆ 宇宙環境下でのセルロース酵素合成に世界で初めて成功

<https://www.jamss.co.jp/en/news/index.html?idx=T1584338916>



地上で酵素合成されたセルロース
沈殿が生じ不均一に合成されている



宇宙で酵素合成されたセルロース
微小重力下で均一に合成されている

4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

◆ '20年12月の初の商用ミッションでは、COVID-19創薬研究に関わる試料を搭載

欧州宇宙機関 ESAから紹介されました



THE EUROPEAN SPACE AGENCY

DETAILS

RELATED

The first COVID-19 drug research in space started operations in the European commercial ICE-Cubes facility in December on the International Space Station. By examining this medicine in microgravity, researcher aim to better understand how Remdesivir interacts with its delivery substance cyclodextrin so that the drug's efficiency can be improved. This commercial research from Hungarian companies was installed next to other commercial cube experiments that continued to run in the facility.

The experiment represents collaboration at its finest: The customers, InnoStudio and Cyclolab, are using the High Quality Protein Crystal Growth Service Kirara, operated by the Japan Manned Space Systems Corporation (JAMSS), to run an experiment in the ICE Cubes Facility, managed by Space Application Systems, in ESA's Columbus laboratory.

https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2021/01/ICE_Cube_commercial_COVID-19_experiment

4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

宇宙創薬に関わるWebセミナーを開催し、製薬企業、投資家等にアピール

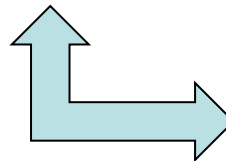
SPACE DRUG DISCOVERY

~~6th SPACE CHEMISTRY SYMPOSIUM~~



11月より3回予定

Web上でプレゼン、質疑応答



企画・主催

契約締結予定



事業紹介

※講演者例



ターゲット(主に海外)

創薬企業・研究機関・ベンチャー

投資家

4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

宇宙旅行(AX-1)で光触媒空気浄化装置技術実証を予定



宇宙飛行士が
運動している
場所へ設置
(調整中)

PCのUSB電源
で駆動



装置は2台打上げ、
光触媒フィルタ効果
の有無での空気浄
化効果有無を評価
する予定



4. JAMSSのLEO商業化への取り組み

国営ショッピングモールから
(米国)民間企業による商業
ショッピングモールへ

