

*The first microsatellite to go to Mars*

*- To realize frequent opportunities to go to Mars toward reality understanding for resource exploration and habitation*

# 惑星資源探査

## 小型テラヘルツ探査機

情報通信研究機構

テラヘルツ研究センター長

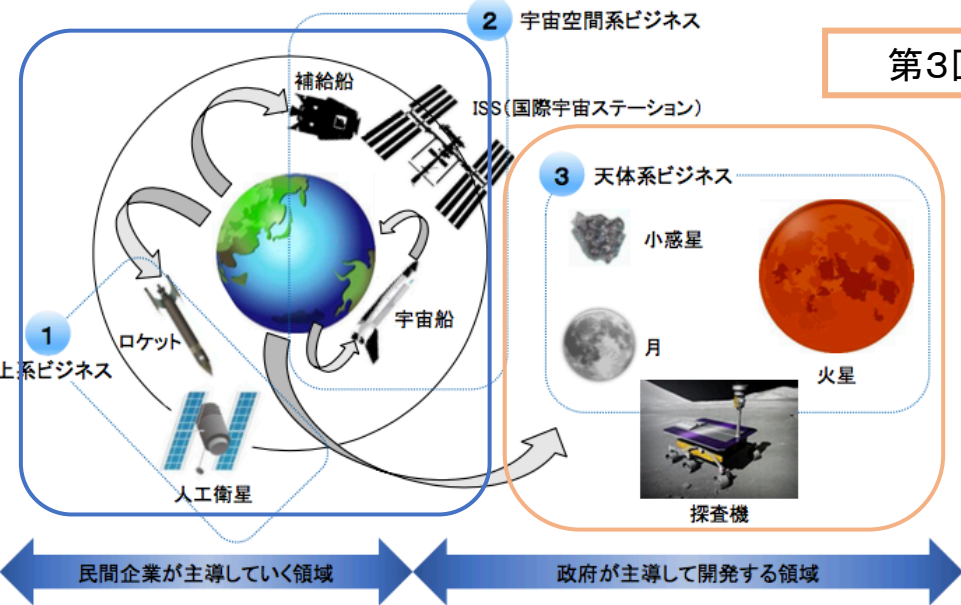
寶迫巖

## 宇宙開発利用構造における官民の役割

第2回宇宙リモセン

第3回衛星通信

- ◆ 通信衛星やリモートセンシング衛星の開発・打上・運用と、それらのデータを利活用する地上産業。
- ◆ 既にビジネス化が進んでいる領域であり、年間2000億ドル以上と言われる宇宙産業市場は、現時点では、ほぼここに集中。



第3回 宇宙資源探査

出典:佐藤将史(野村総研) NRI public management review(2016) より事務局作成

## 宇宙資源探査ビジネスの将来動向

月面開発や火星探査など、これまで政府機関が科学的知見目的で国家プロジェクトとして実施してきた分野であるが、月資源探査を皮切りにビジネスとして民間企業の参入が活発化。衛星の運用、宇宙輸送、宇宙拠点運用などの数の増大でエネルギー需要が高まる中、燃料などを地球から宇宙に運び上げるとコストは膨大に。他方で、宇宙で獲得したエネルギー源を宇宙で使用する場合、月からの宇宙内移動及び輸送のための燃料輸送コストは地球からの燃料輸送コストの約100分の1という試算。水資源は、電気分解により水素を生成し液体燃料エンジン燃料、燃料電池等の形でエネルギー源として使用可能。宇宙資源開発に必要となる打上ロケット、深宇宙探査機、着陸船、ロボット、センシング等の技術が徐々に確立されつつあり、それがこういった宇宙資源開発の近い将来の現実性を技術的に裏打ち。

「動き出した宇宙資源開発ビジネスと法整備制度」水島淳Asahi Judiciary (2016)より

## 宇宙資源探査に関する国連の検討状況

- 宇宙条約第二条は、月その他の天体の国家による所有等を禁じているものの、天然資源の採掘は明確に否定していないため、宇宙における天然資源の採掘は認められるとの解釈が可能。
- このような状況を受け、目標天体への着陸、資源所在領域の占有、資源の掘削方法などの宇宙資源開発活動、それらを監督する機関などの点について、国際的枠組の議論が開始。
- 2016年4月、ウィーンで開催された国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)法律小委員会では、ベルギーの提案により、「宇宙資源探査及び利用のために考えられる法的枠組みに関する意見交換」が2017年の議題として採択。
- また、同月にオランダライデン大学等によるコンソーシアムの主催によりハーグ宇宙資源ガバナンス・ワーキンググループが発足し、国際機関、各国政府、研究機関、事業会社が参加。

## 諸外国の取組

### (1) 米国

- 2015年11月 新宇宙活動法「Spurring Private Aerospace Competitiveness and Entrepreneurship(SPACE)Act of 2015」成立。「商業宇宙打ち上げ」「商業リモートセンシング」「宇宙事務局」「宇宙資源探査およびその利用」の4項目。商業宇宙資源開発を認めた世界初の法律。
- 同法では、月、小惑星その他の天体及び宇宙空間上の水、ミネラルを含む非生物資源の採取に商業的に従事している米国市民に対し、米国が負う国際的な義務等に抵触せずに獲得された当該資源についての占有、所有、輸送、利用及び販売を認めている。2016年に米国政府から提出された報告書では月面探査や小惑星の資源採掘活動を米国連邦航空局(FAA)が統括すべきと記述。

### (2) ルクセンブルク

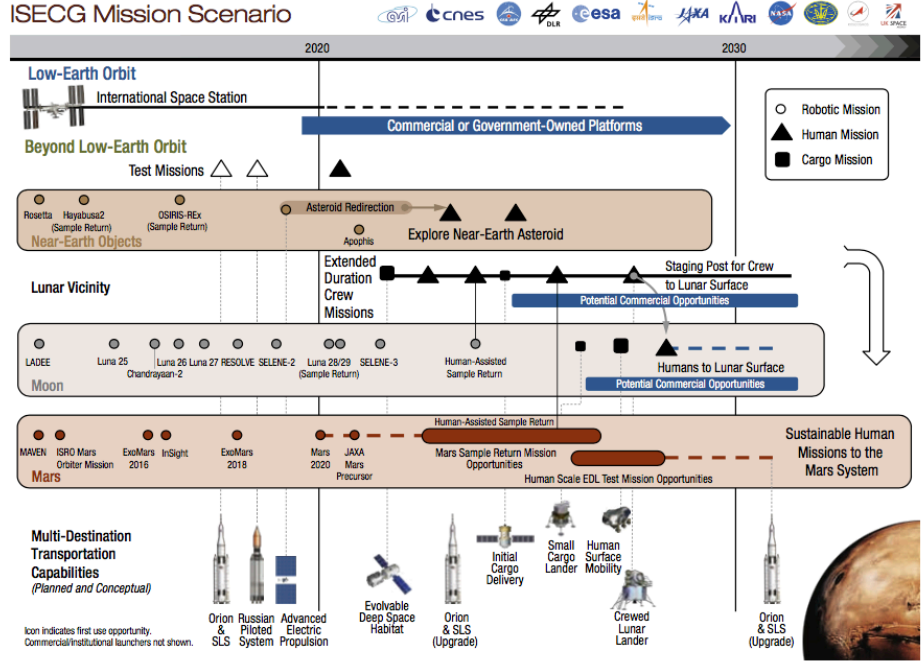
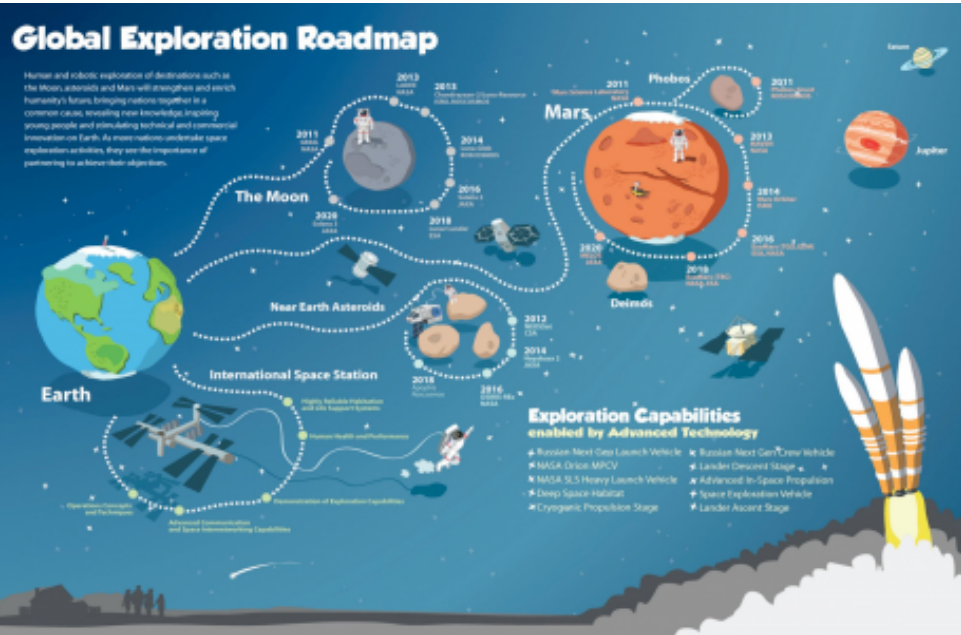
- 2016年2月、自国を宇宙資源探査及び利用の分野での欧州の中心地とする旨の政策を発表。宇宙資源開発ビジネスを標榜する複数の企業への資金供与を含む支援を公表。米国を含む他国との共同での法的枠組構築を模索することを表明。

### (3) アラブ首長国連邦

- 宇宙探査及び宇宙資源開発を含む宇宙空間における商業活動についての法制化に着手したことを表明。

政府関連宇宙機関の取組

➤ JAXA、NASA、ESAなど世界の宇宙14機関が参加するISECC(国際宇宙探査協働グループ)は、2030年の有人火星探査実現に向けた国際宇宙探査ロードマップを策定



主な民間企業など

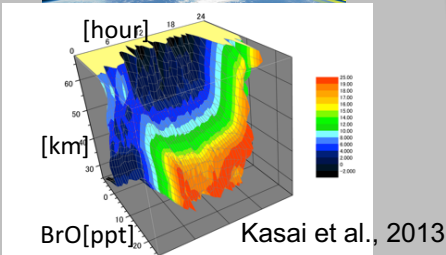
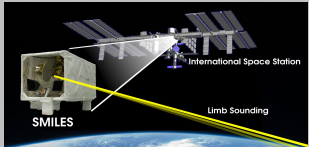
- 米国  
Deep Space Industries 社、Planetary Resources 社など
- 日本  
ispace
- Google Lunar X prize 参画16チーム  
Team SpaceIL(イスラエル), Moon Express (USA), Synergy Moon(多国籍), TeamIndus(インド), HAKUTO(日本), Astrobotic (USA), Team Italia(イタリア), STELLAR(多国籍), Independence-X(マレーシア), Omega Envoy (USA), Euroluna(多国籍), Part-Time Scientists(ドイツ), Team Puli(ハンガリー), SpaceMETA(ブラジル), Plan B(カナダ), AngelicvM(チリ)

# NICTのテラヘルツリモセン開拓

NICTはリモセン周波数開拓研究を得意とする。13GHz→34GHz→94GHz(active)、600GHz → 400, 700GHz(passive)  
 参考 我が国において開発・運用等が行われている衛星搭載リモセン等の一覧(総務省)

〈オゾン層破壊物質検出〉  
 大気中において超微量(一兆分の1程度)の臭素物質BrOの動態把握に成功  
 (1999-2010年)

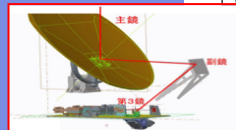
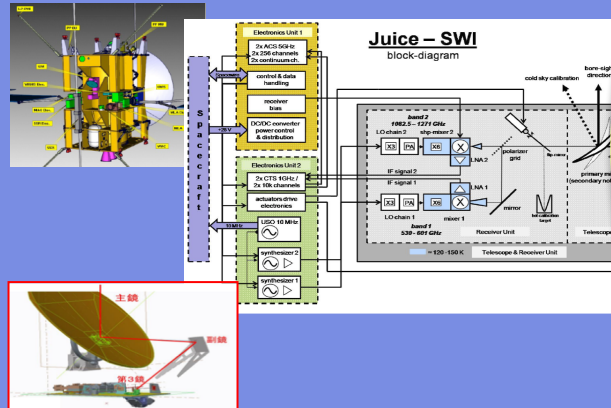
500kg  
 SMILES  
 国際宇宙ステーション搭載  
 超伝導サブミリ波リム放射サウンドラ



超高感度センサ開発に成功  
 (米国・欧州の類似のセンサと比較して10-20倍の高感度)

〈木星圏ハビタビリティ探査〉  
 世界初のTHz深宇宙惑星探査  
 ガニメデの海に生物は存在?  
 (2014-2018年)

13kg  
 テラヘルツ分光計(SWI)  
 ESA/DLRとの国際協力

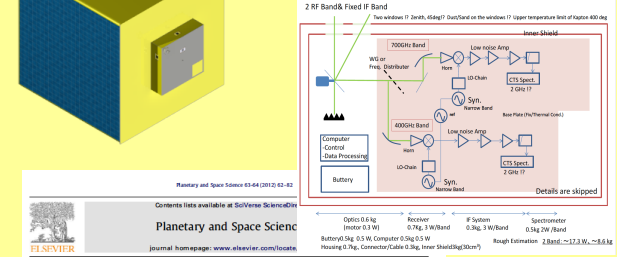
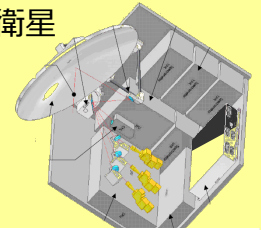
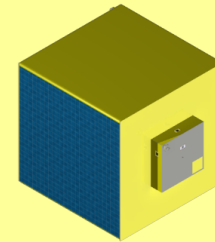


NICTはアンテナ製作を担当。軽量かつ頑丈、さらに広範囲の温度環境に耐えるアンテナ開発に成功

〈惑星資源探査〉  
 火星や月の水・酸素を検出  
 火星ハビタビリティ探査  
 (2010-2020年)

8kg  
 小型火星テラヘルツ探査機

世界初、火星マイクロ衛星を目指す。



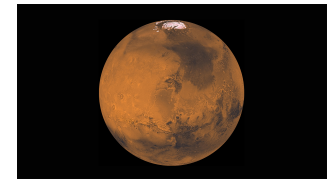
Planetary and Space Science  
 Overview of the Martian atmospheric submillimetre sounder FIRE  
 Yasuko Kasai<sup>1</sup>, Hideo Sagawa<sup>2</sup>, Takeshi Kuroda<sup>3</sup>, Takeshi Manabe<sup>4</sup>, Satoshi Ochiai<sup>5</sup>, Ken-ichi Kikuchi<sup>6</sup>, Toshiyuki Nishihara<sup>7</sup>, Philippe Baron<sup>8</sup>, Jana Mendrok<sup>9</sup>, Paul Hartogh<sup>10</sup>, Donal Murtagh<sup>11</sup>, Joachim Urban<sup>12</sup>, Fredrik von Scheele<sup>13</sup>, Urban Frisk<sup>14</sup>

Article Information  
 Article history: Received 6 March 2011; Revised to final form 17 September 2011; Accepted 28 October 2011; Available online 30 November 2011

Abstract  
 We propose a submillimetre-wave atmospheric sounding instrument, called Fireball Instrument (FIRE), for the Japanese Marsian exploration program. FIRE is equipped with tandem Urban-Spencer (MUSIS). The scientific range of FIRE/MUSIS is to understand the dust suspended surrounding of the Mars. FIRE will provide key meteorological parameters, such as atmospheric temperature profiles for outside and inside dust storms, the abundance profile of the atmospheric composition and their seasons, and wind-velocity profiles. FIRE will also provide the local time

火星THz小型センサ提案 2012年

# テラヘルツ リモセン観測



テラヘルツ高周波数。電波と光の間の電磁波で未開拓であった領域。

- ・装置の小型化・軽量化・高感度検出
- ・大気中の分子(酸素など)を同時に分別してスペクトル観測
- ・地表面の氷検出(誘電率から推定)

地球周回軌道衛星搭載のテラヘルツ観測により、火星表面に付近にリッチな酸素がある可能性が示唆されている(P. Hartogh et al., 2012)

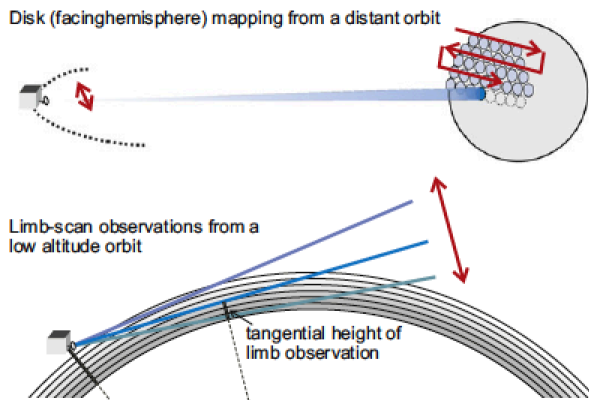
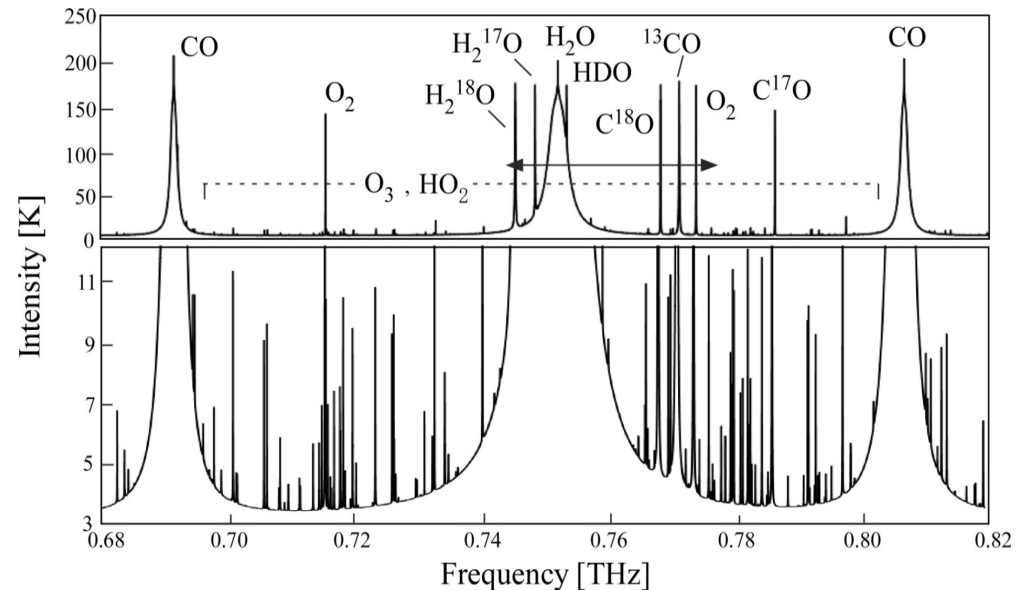
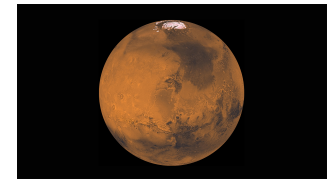


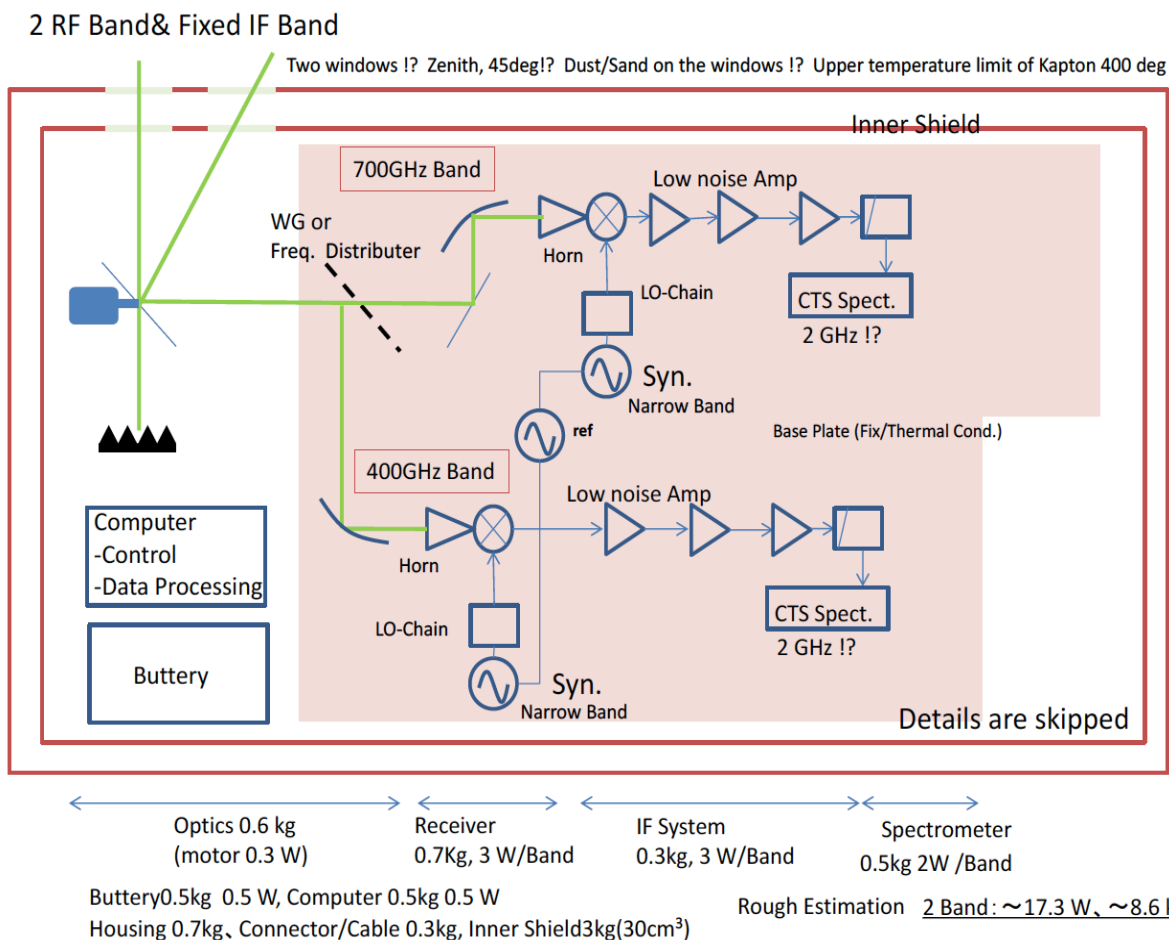
Fig. 3. A schematic picture of the nadir and limb observational modes of FIRE.



# テラヘルツ リモセン技術



着陸機を想定。酸素・水分子と同位体の観測を実現するため、400GHz、700GHzの2周波観測を採用。電力17.3W, センサ質量8.6kgを確認。  
 (また、オービターで地表面観測を行う場合、地表面誘電率による地表面氷資源探査が可能になる)



感度解析により、本仕様で地表面から高度50kmまで酸素の観測が可能なることを確認。

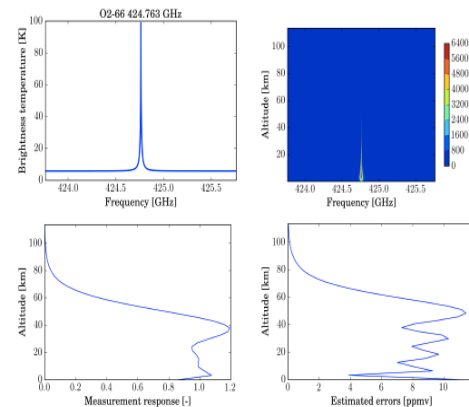


Figure 1: O<sub>2</sub>-66 sensitivity, signal, Jacobian, and error response.

# まとめ

- 1) 惑星資源探査は、従来、政府機関が科学的知見目的で国家プロジェクトとして実施してきた分野であるが、近年、月資源探査を皮切りにビジネスとして民間企業の参入が活発化。
- 2) それに伴い国際的な法整備は急ピッチで進められている。
- 3) NICTではテラヘルツ技術を用い「小型・軽量・開発期間の短縮・低コスト」な探査機を実現し、火星の資源探査やハビタビリティ探査においてイノベーションを起すことを目指している。