

# Tera-hertz Explorer, TEREX, Mission

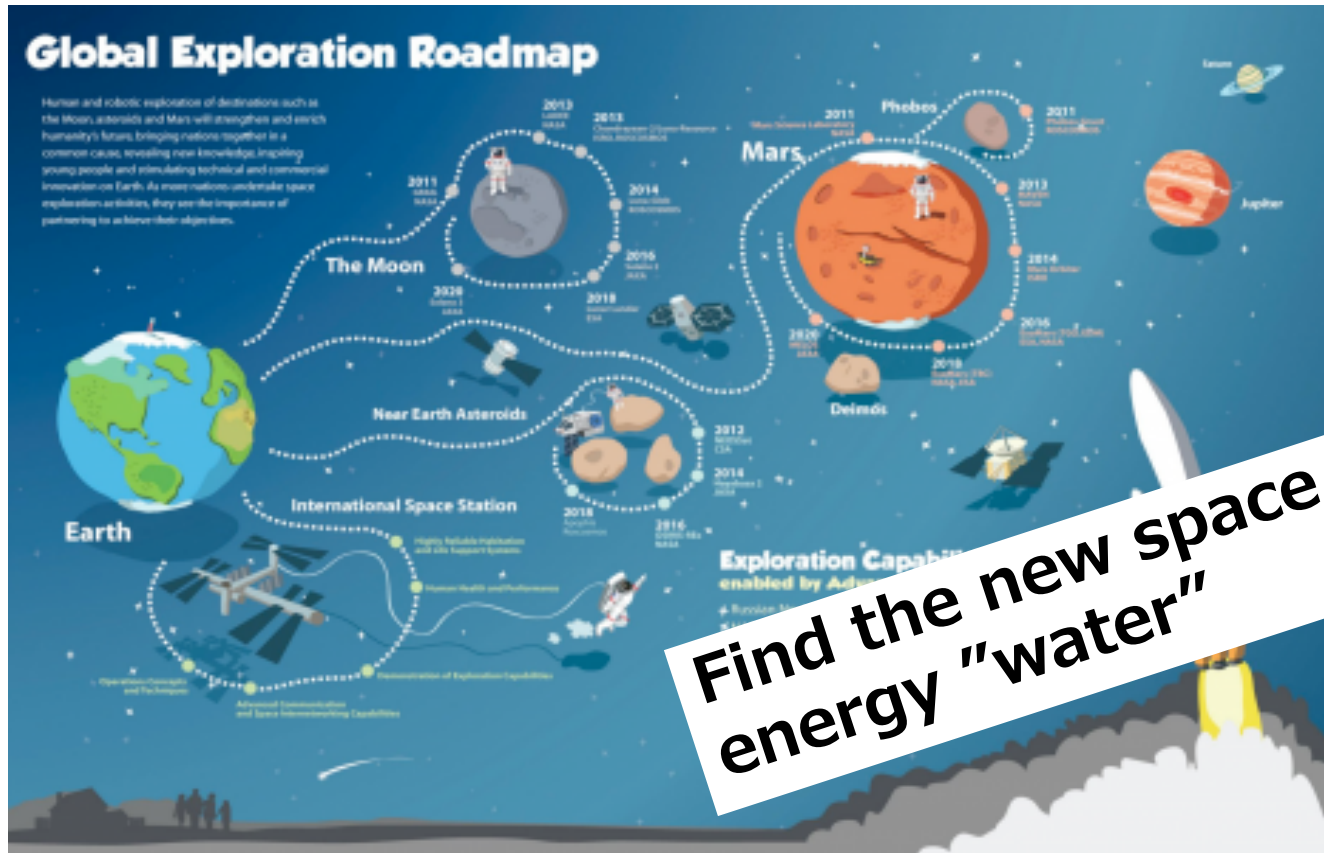
---

笠井康子

情報通信研究機構

Background Picture Credit: NASA/JPL-Caltech image

Our Concept: A microsatellite to realize frequent opportunities to go to Mars for resource exploration



c) NASA

## 米国

- 新宇宙活動法の制定
  - 2015年11月 新宇宙活動法成立。
  - 同法は、商業宇宙資源開発を認めた世界初の法律。
  - 同法は、月、小惑星その他の天体及び宇宙空間上の水やミネラルを含む非生物資源の採取に商業的に従事する米国市民に対し、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の占有、所有、輸送、利用及び販売を認めている。

## 欧州・中東

- 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。
  - 米国を含む他国と共同で法的枠組構築を模索する旨表明。
- 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整備に向けた動きがあるという報告がある。

## 日本

- ispace社（民間事業者）の取組
  - 2010年、月面資源探査を目的としたベンチャー企業として設立。
  - 東北大学等と構成したチーム「HAKUTO」が、Google Lunar XPRIZEに参加。2017年末までの指定ミッションを前に、中間賞であるマイルストーン賞として、賞金50万ドルを獲得。

## 国際的取組

- 国連における検討状況
  - 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。このため、宇宙資源開発活動やその監督機関などについて、国際的枠組の議論が開始。
  - 2016年4月の国連宇宙空間平和利用委員会(COPUOS)法律小委員会において、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される見込み。
- Google Lunar XPRIZE
  - 純民間による月面ロボット探査の国際レースで、Googleがスポンサー。
  - 2017年末までに指定ミッション(500m走行及び映像パッケージ送信)を達成したチームに、2,000万ドルの賞金を授与。
  - 世界中から16チームが参加し、我が国からは、ispaceや東北大学等によって構成されたチーム「HAKUTO」が参加。

## 2030年の実現イメージ

- ◆ 地球より重力圏からの制約が小さく、打上げコストの低廉化が可能な月面基地からのロケット・人工衛星の打上げビジネスが一般化。
- ◆ 月面基地でのロケット・人工衛星の製造や地球近傍宇宙圏における推進エネルギーの自立的な補給のため、月面や火星で採掘した水資源を電気分解して得られる水素・酸素エネルギーを活用。
- ◆ 火星旅行では、月を地球・火星間の中継基地として活用。
- ◆ 月・火星・小惑星における希少資源探査の実現。
- ◆ 月面基地を拠点として、衛星軌道上においてロボティクス技術を活用した衛星組立てビジネスが開始。



C) NASA

## 実現に向けた課題

- 月面、小惑星、火星等の宇宙資源探査を効率的に実施するため、小型探査機に搭載可能な軽量かつ小型なセンサー技術の開発が必要。
- 将来的には、月面、小惑星、火星における資源探査が活発化することにより、地球と月、小惑星、火星との間で安定的な通信を確保するための通信技術の開発が必要。
- 惑星資源探査や有人宇宙飛行を商業ベースで展開していく上で、我が国として、安定的に宇宙天気情報の提供に取り組むことが必要。



宇宙xICTの未来の可能性

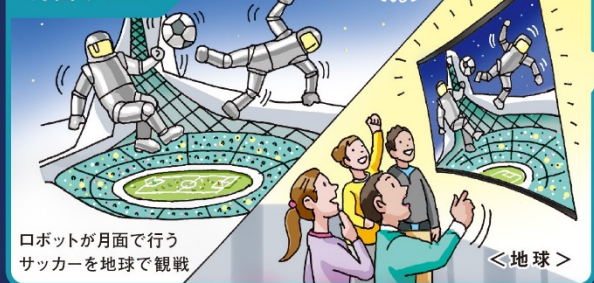
## 宇宙でエンタメ・スポーツ・観光が変わる



### 月面アミューズメントパーク



### 月面サッカー



### 宇宙結婚式

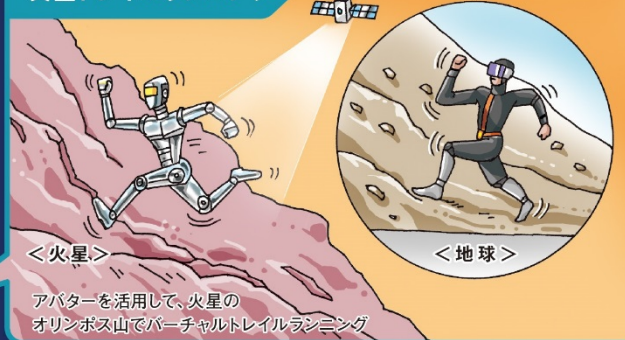


地球・月・火星の各地を衛星がリアルタイムにスキャン

大容量光通信・テラヘルツ通信

測位衛星

### 火星トレイルランニング



### 火星アイドル



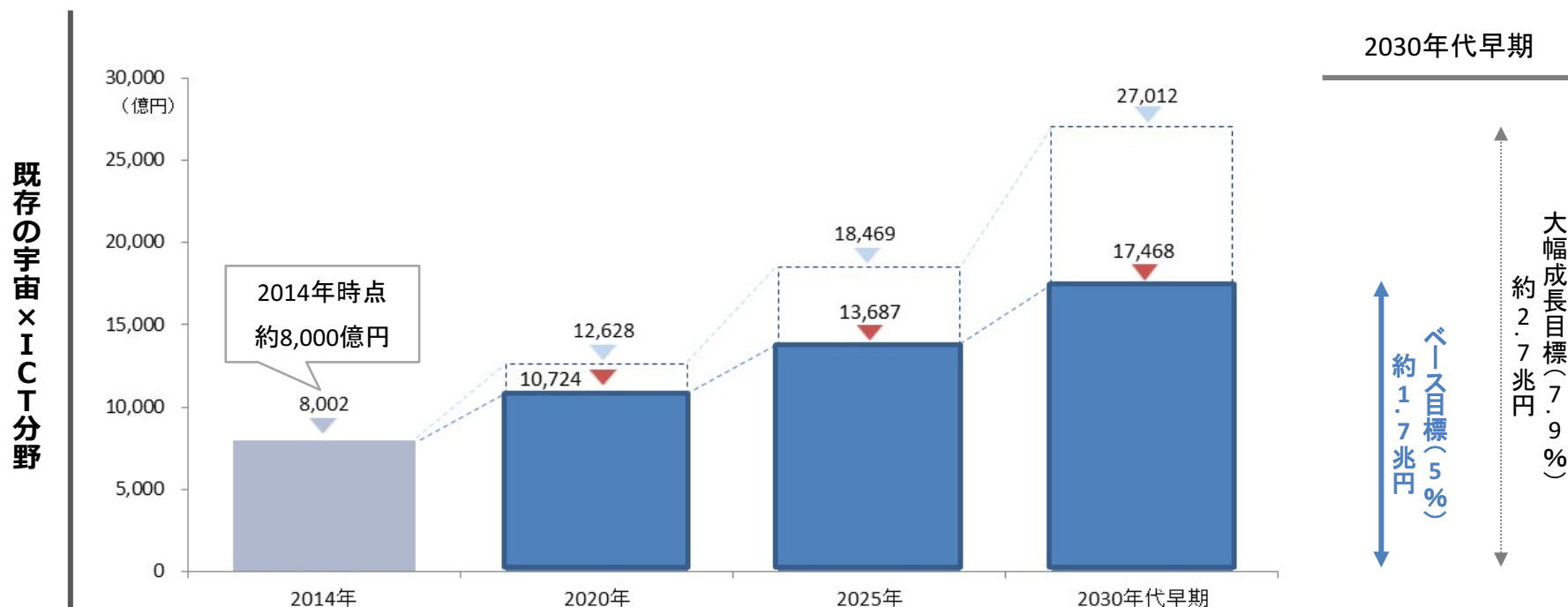
### バーチャル観光



## 宇宙xICT市場規模予測

- ◆ 既存の宇宙×ICT分野は、2030年代早期において、ベースとなる将来目標を約1.7兆円と想定。大幅な成長となった場合は約2.7兆円。  
※ ブロードバンド衛星通信ビジネス、宇宙データ利活用ビジネスを合算した数値を記載。
- ◆ 新規市場である「ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス」は約1.5兆円、「宇宙環境情報ビジネス」は約1,650億円の市場が、潜在的な将来目標として想定。

## 宇宙xICT分野の将来目標（2030年代早期）



+

ワイヤレス宇宙資源探査ビジネス：  
約1.5兆円

宇宙環境情報ビジネス：  
約1,650億円

(参考数値)

新規創出を  
目指す分野

# Tera-hertz Explorer, TEREX, Mission

## Mission target

- Deep space navigation and Mars insertion every 2 years
- Resource and habitability exploration with water and oxygen using Tera-Hz sensor
- **Small (50cm<sup>3</sup>), light(Less than 8kg), low battery (less than 30W)**

## TEREX -1: Lander 2022

- ***Minimum***: Landing on Mars
- ***Standard***: Taking one spectra of O<sub>2</sub> and water vapor by THz sensor
- ***Extra***: getting one year's Tera-Hz data to identify the source of oxygen and water vapor. Getting Mars climate data for future weather forecasting

## – TEREX -2: Orbiter 2024

**Water (and O<sub>2</sub> ) survey on surface and atmosphere of Mars globally**



# Our Mission plan: Tera Hertz Explorer

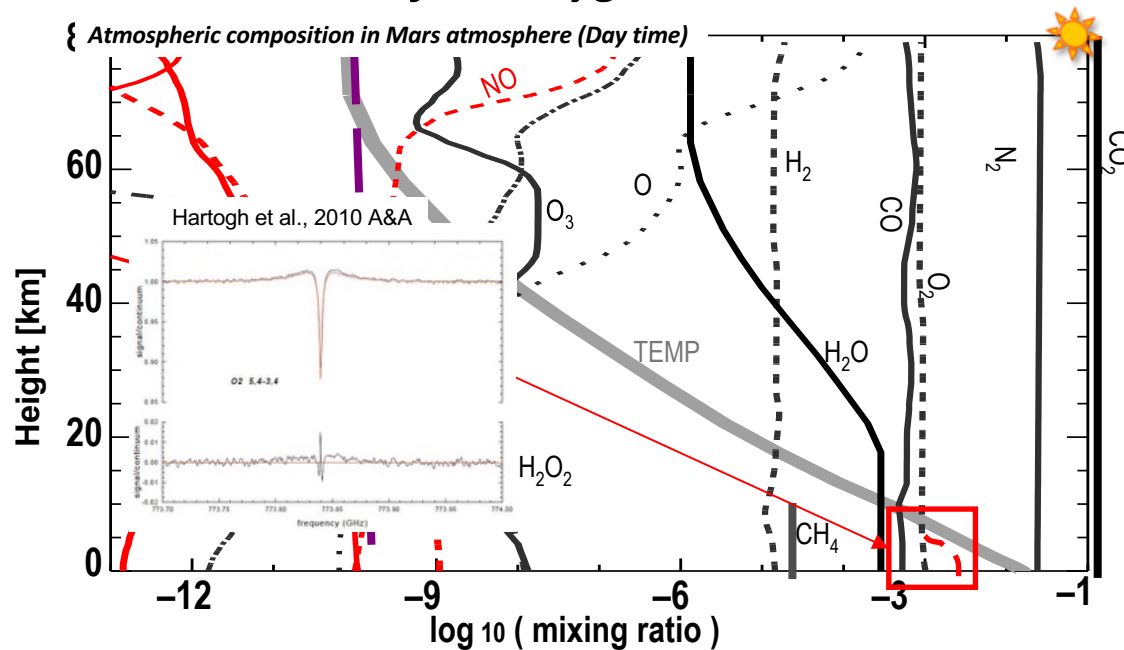
*“The mini-satellite to realize frequent opportunities to go to Mars toward reality understanding for resource exploration and habitation”*

- Launch spacecraft to Mars once in a two years “frequently” as piggy-back
- First mission is “Tera Hertz Explorer-1 (TEREX-1)”

# Scientific motivation

# Oxygen Distribution

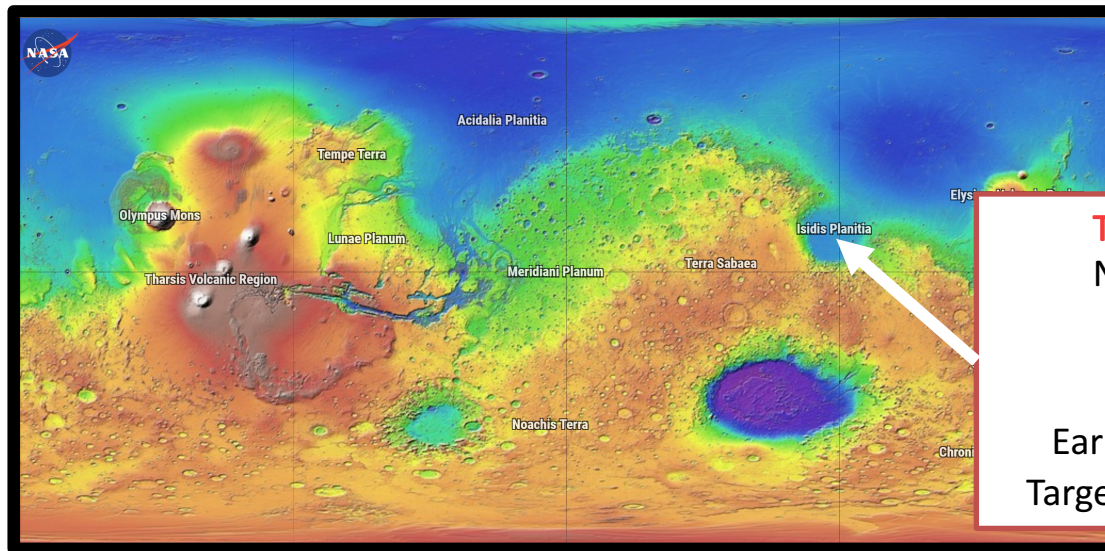
## Surface Oxygen Increase?



- Large variability
- Water on the surface?
- Other source?

List of the undetected species after Encrenaz et al. [2004]; and results of the numerical experiment by MAOAM-CTM, where black labels indicate the detected species and the red is undetected [from Hartogh]

# Targeted Landing Site & Season



**Target Landing Site**  
N 10.5° E 85.5°  
Isidis Planitia

**Landing Season**  
Early summer (Ls = 49°)  
Targeted launch year: 2022

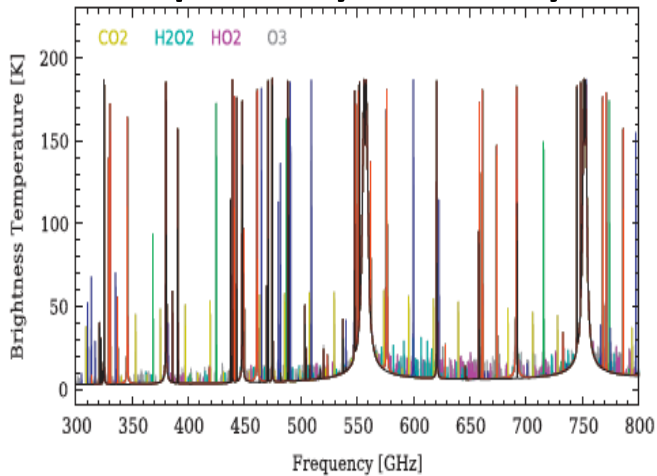
Image: Mars Trek

- Suitable for electricity and thermal design
- Low altitude so that lander can decelerate with higher atmospheric density
- Broad flat area that includes large landing ellipse

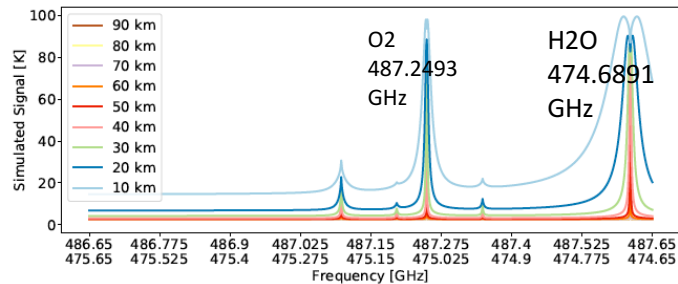
# THZ SENSING

**Small (50cm<sup>3</sup>), light(Less than 8kg), low battery (less than 30W)  
To detect O2 and H2O**

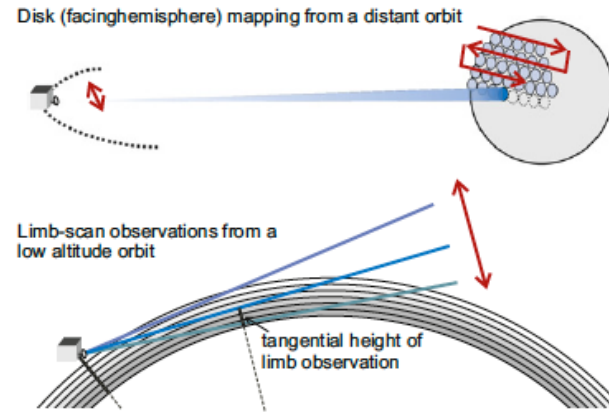
## Frequency Survey



## Limb Spectra



## Geometry



**LO: 481.65**  
**IF : 6GHz**  
**Range : 1GHz**  
**474.65-475.65, 486.65-487.65GHz**

# 1) テラヘルツセンシングシステムの実現：

観測周波数： 局部発振器周波数LO・中間周波数帯IF・帯域の決定

→ NICT -THz放射伝達モデルにより大気観測シミュレーションを実施

## THz放射伝達モデルシミュレーション手順

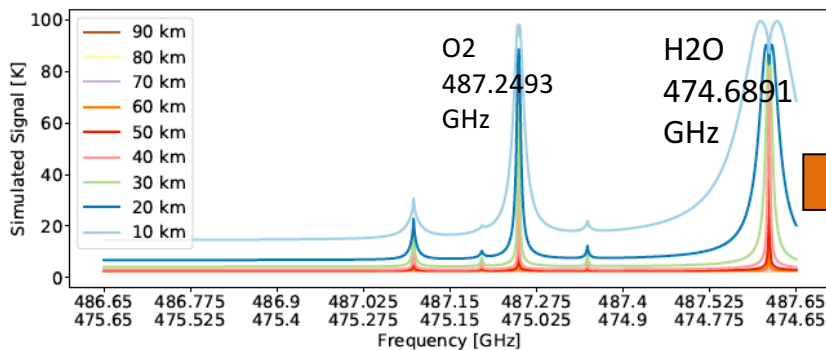
- 1) 300-800GHz帯のH2O, O2スペクトル周波数サーベイ
- 2) 衛星高度300km, Lmb, Nadirジオメトリを想定
- 3) スペクトル観測のためのヘテロダイン検波分光システム  
※ 軽量化のため、DSB(ダブルサイドバンド)を採用

放射伝達方程式

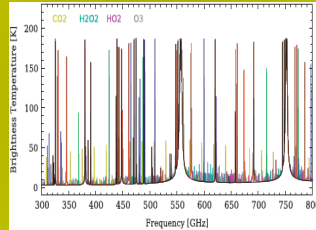
$$\frac{dI_\nu}{ds} = \epsilon_\nu - \alpha_\nu I_\nu$$

$I_\nu$ : 放射強度 [ $\text{J m}^{-2} \text{Hz}^{-1} \text{sr}^{-1}$ ]  
 $\alpha_\nu$ : 吸収係数 [ $\text{m}^{-1}$ ]  
 $\epsilon_\nu$ : 発光係数 [ $\text{J m}^{-3} \text{Hz}^{-1} \text{sr}^{-1}$ ]

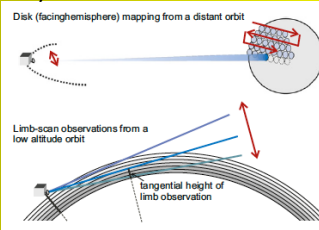
得られたLimb観測スペクトルの例



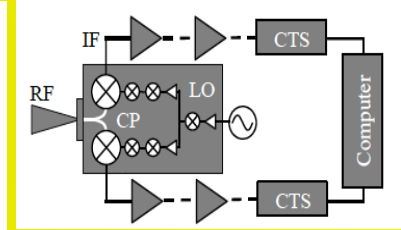
### 1) サーベイ



### 2) 衛星観測ジオメトリ



### 3) ヘテロダイン検波分光



結果：

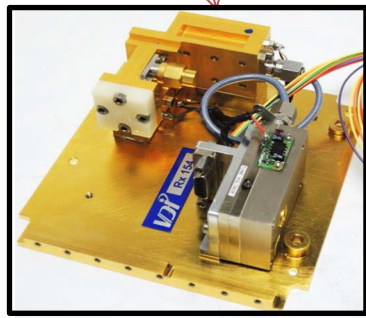
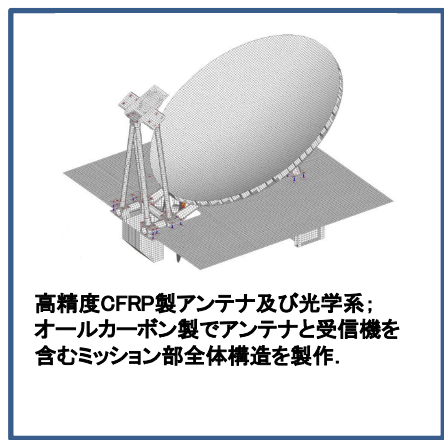
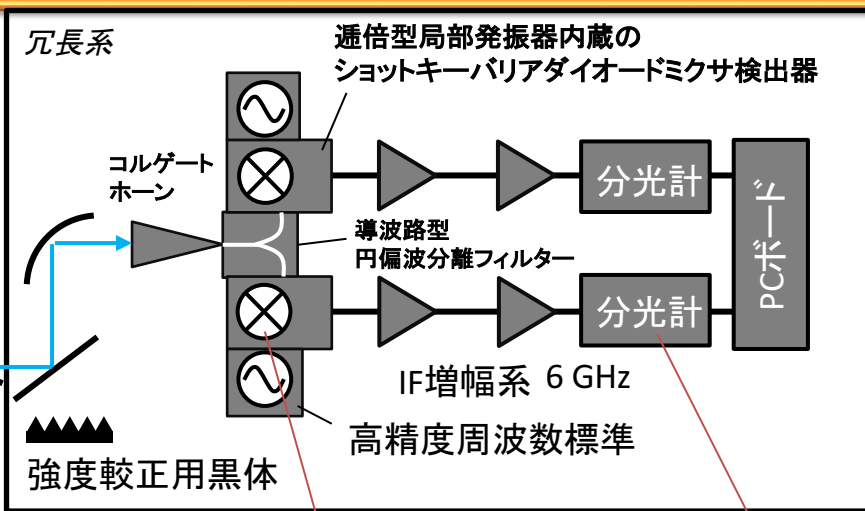
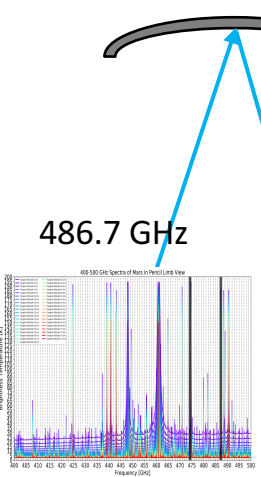
LO: 481.65

IF: 6GHz

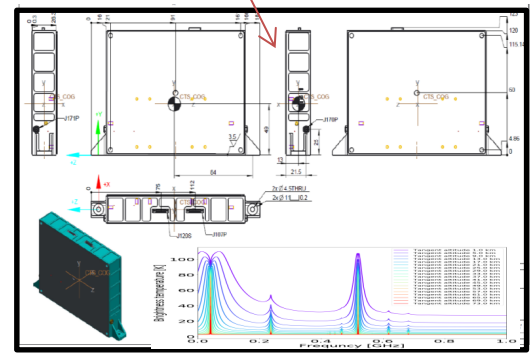
帯域: 1GHz (474.65-475.65, 486.65-487.65GHz)

観測システム

# TEREX-1



通倍型局部発振器内蔵の  
ショットキーバリアダイオード  
ミキサ検出器

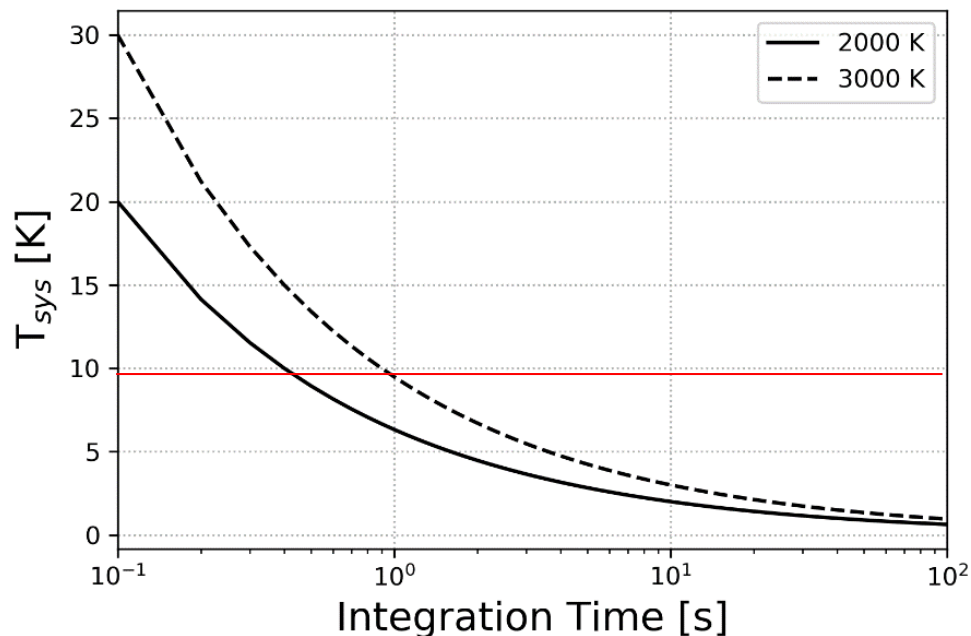
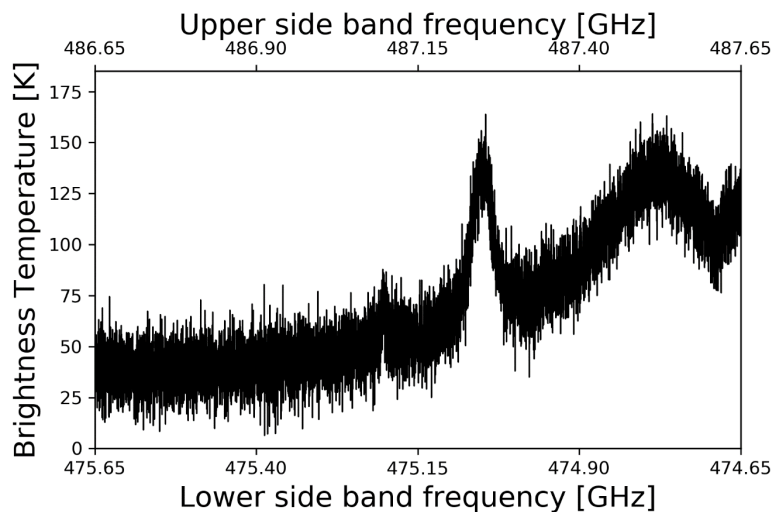


チャープ変換型分光計

# システムノイズ温度10K以下実現

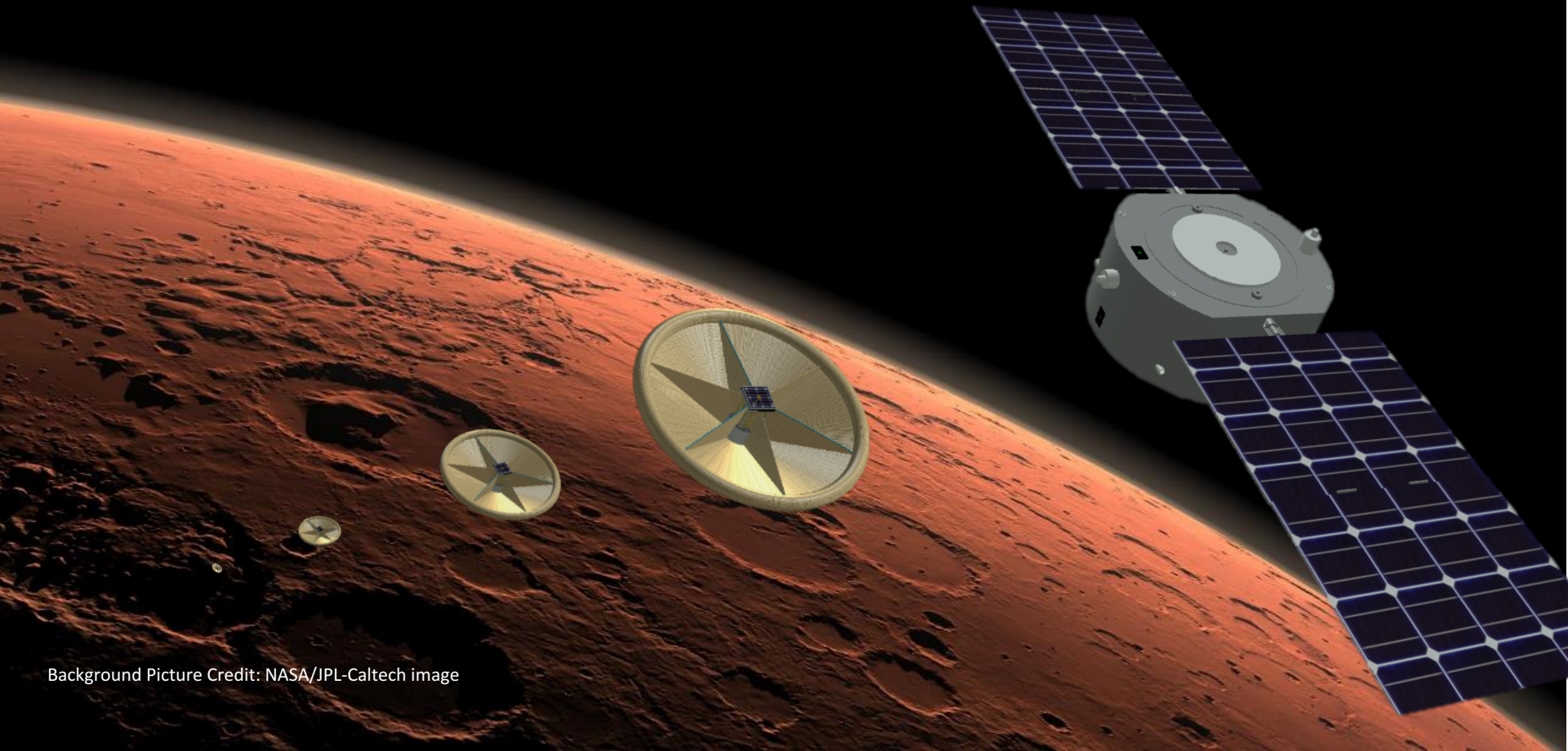
システム温度は  
2000K-3000K程度である

2000Kの場合  
0.4sの積分時間で  
ノイズ温度10Kを達成





Contact: Yasuko KASAI  
ykasai@nict.go.jp



Background Picture Credit: NASA/JPL-Caltech image