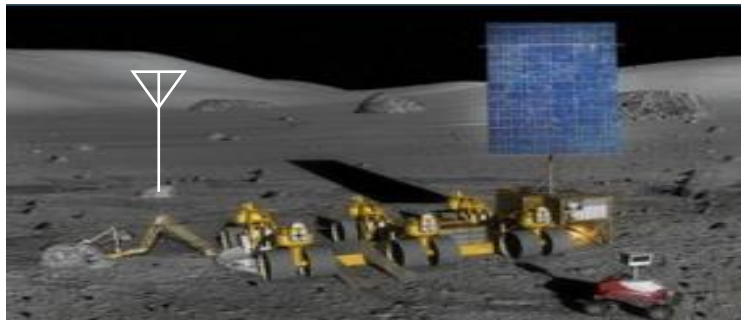
月測位研究会 第1回ミーティング / Online
2022年11月14日

従来の地球型測位からみた月測位と産業展望

宇宙システム開発利用推進機構(J-spacesystems)
衛星測位事業本部 利用開拓部長
博士(工学) 浅里 幸起

宇宙システム開発利用推進機構 事業紹介

月面ワイヤレス電力伝送技術の開発



放射型

マイクロ波方式

大電力

脱炭素社会に向けた衛星測位市場創出

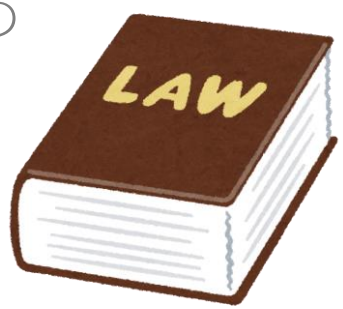
ICG

経済産業省

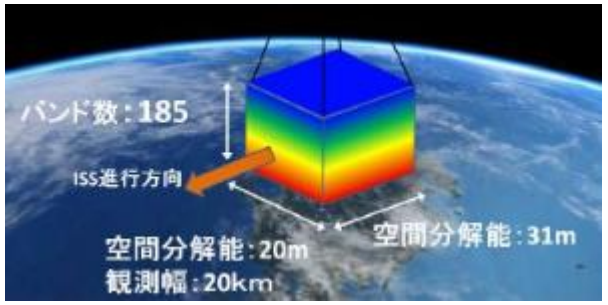
衛星リモセン法

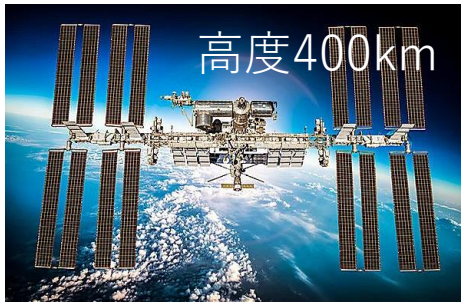
衛星リモートセンシング記録の
適正な取扱いの確保に
関する法律（H28年）

25cm以内の分解能
標準データ届出義務

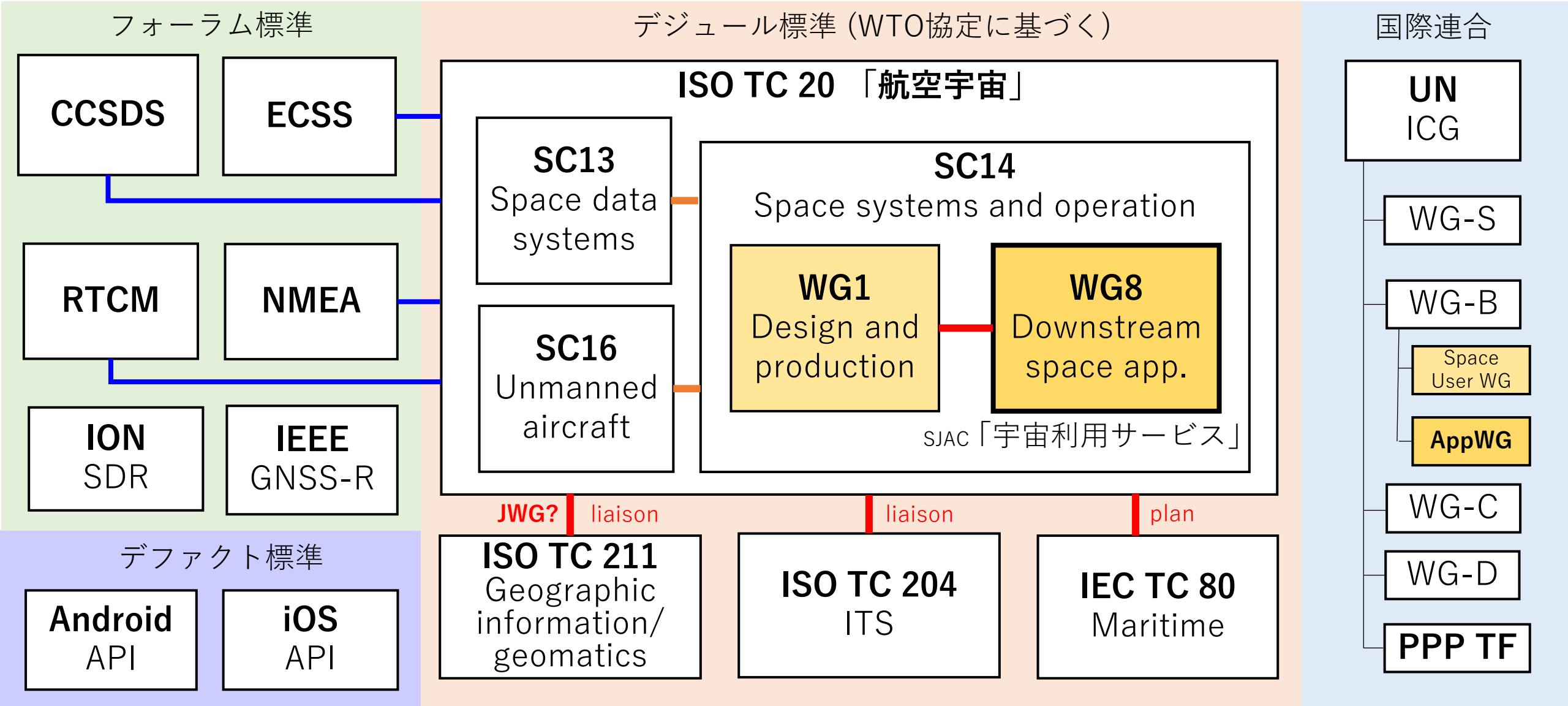


ISS搭載 ハイパースペクトルセンサ





国際ルール形成による市場創出事業



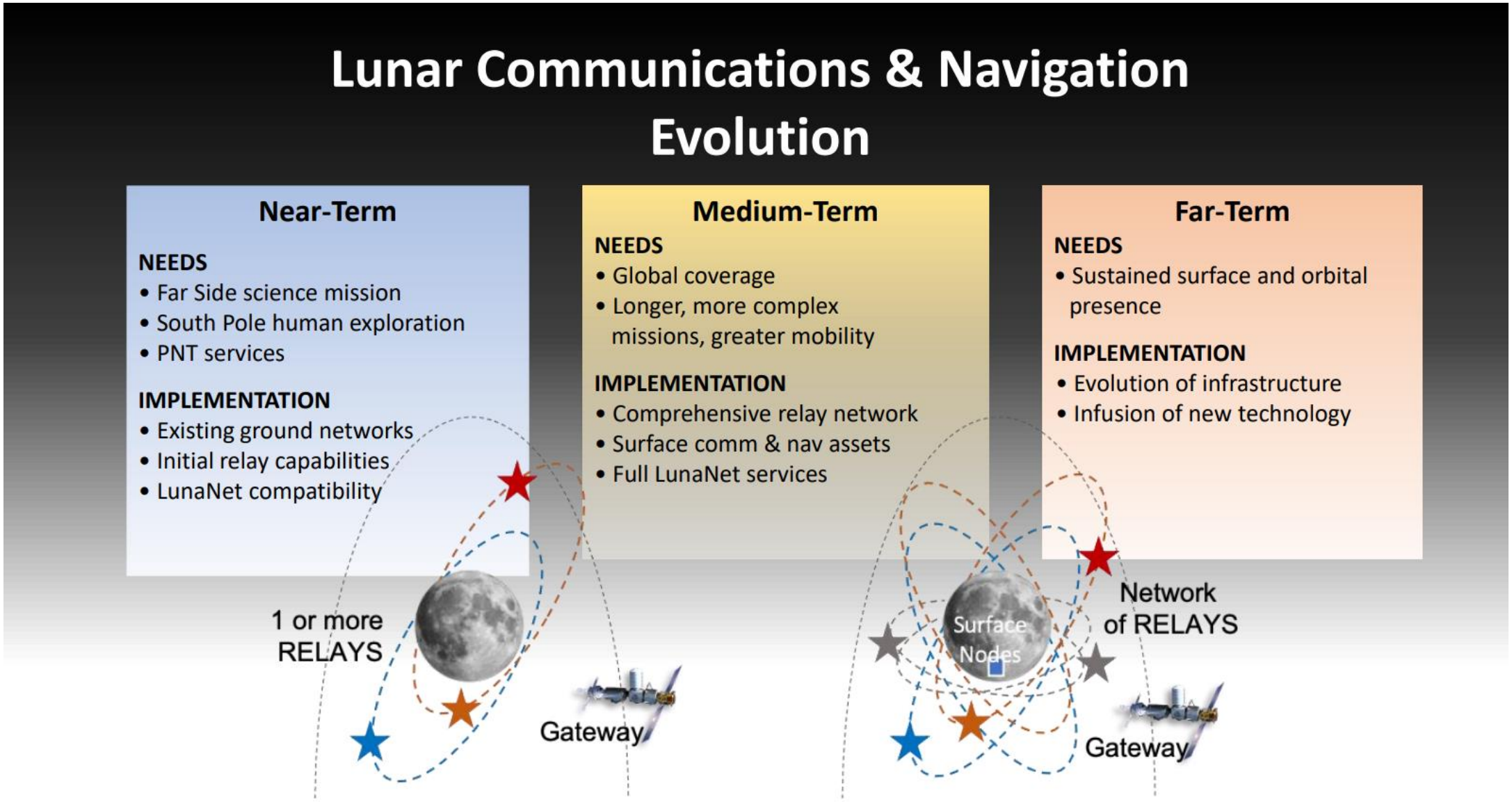
月の基本スペック

出典:PIXABAY, Free Image

項目	数値	備考
地球からの距離	約38万km	静止衛星の10.6倍
平均直径	2,374.3km	札幌-沖縄の距離
表面重力	0.165G	地球の約1/6
表面積	3,800万km^2	ロシアの２倍強
大気圧	10^{-7} Pa 以下	地球 1013 hPa
公転周期	27日7時間43分	＝自転周期
表面温度	最高　123°C	
	平均　-23°C	
	最低　−233°C	
赤道傾斜角	1.5424°	
扁平率	0.00129	出典：天文学事典
脱出速度	マッハ7	地球 マッハ33

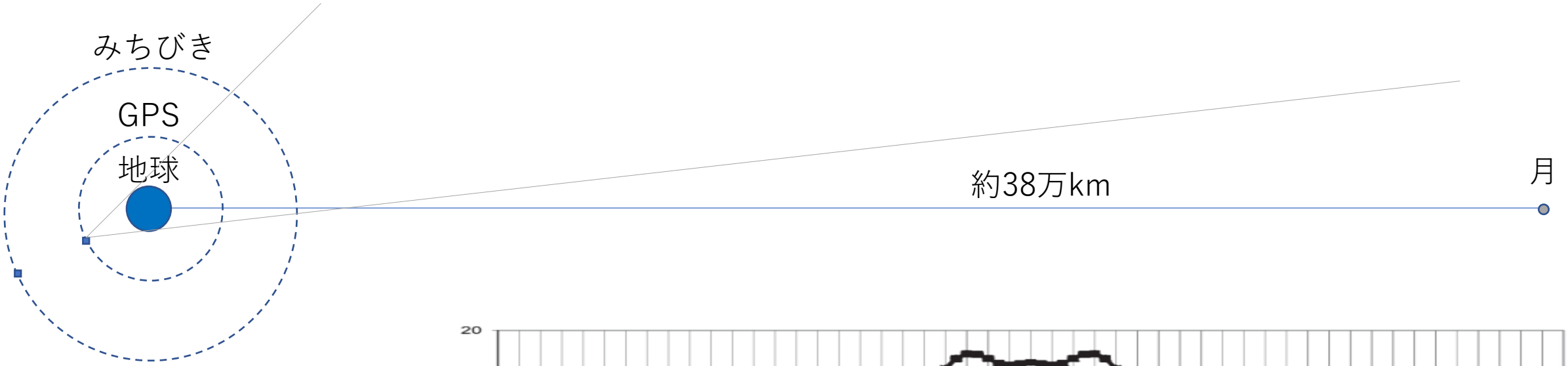
（注）空気のない宇宙でマッハは使われないが分かり易くするため使用

グランド・ロードマップ



Reference: J. J. K. Parker, NASA GNSS Update, UN ICG-16 WG-B, Abu Dhabi, UAE, 2022

月/地球・測位衛星の配置：比例尺



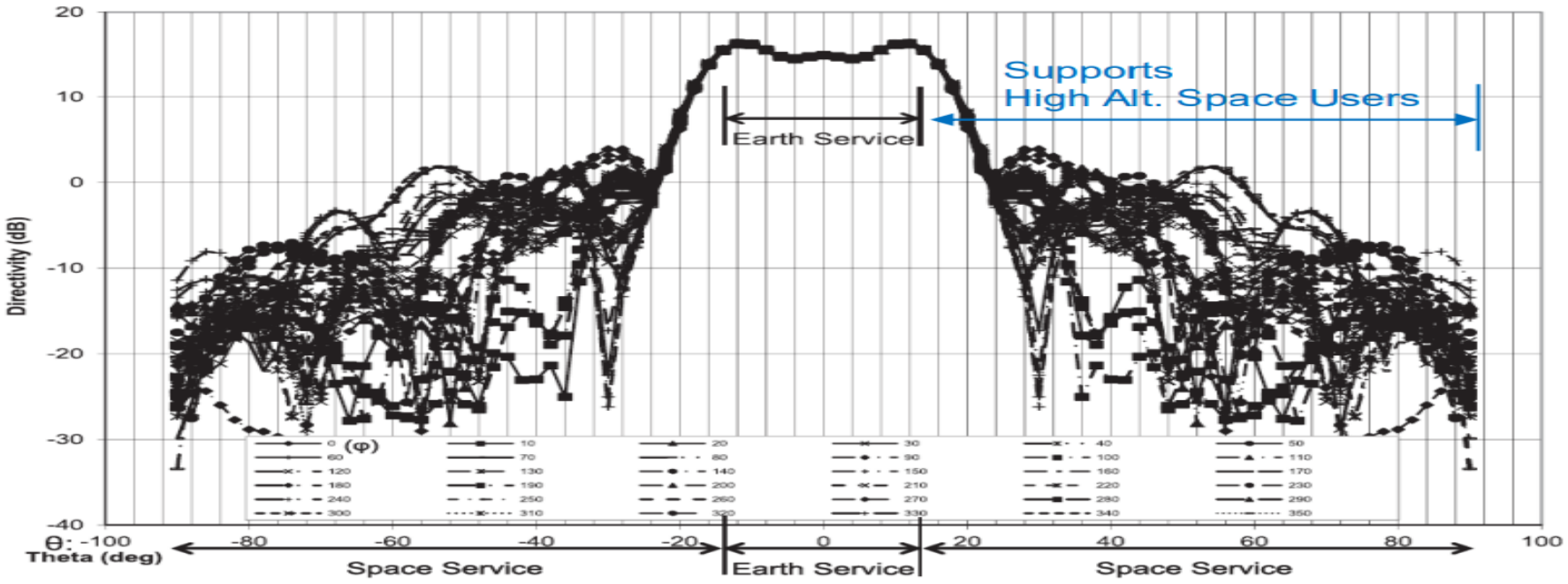
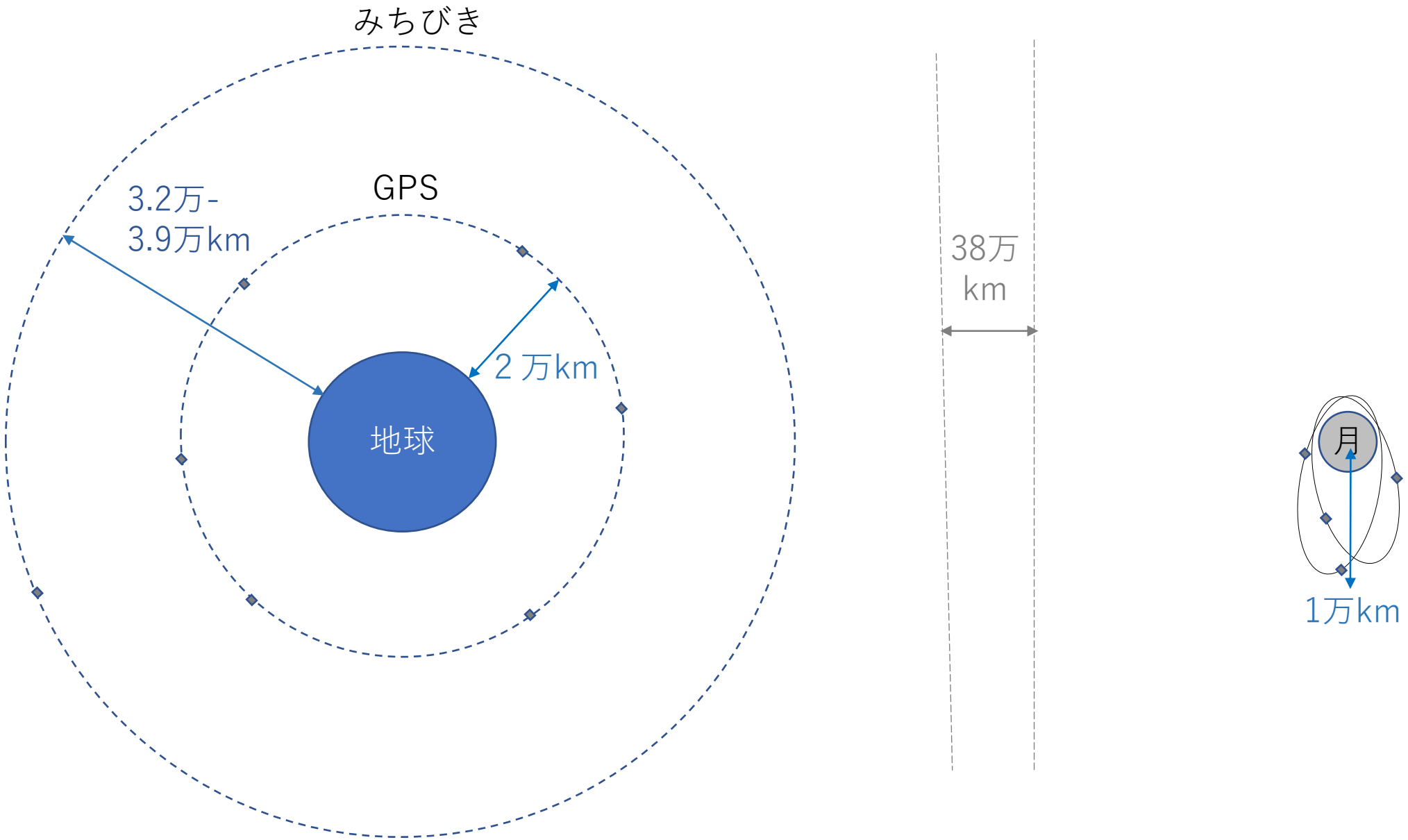


Fig. 26–Average improved antenna pattern – L1

Reference:
2015 Marquis, W. A. and Reigh, D. L. (2015)

GPS Block IIR-M, L1 band

Near Term の月測位システム



物理量の普遍性からみた「位置」

「位置」は他の物理量とは異なる特別な量。それは天体に依存し、基準が大切である。

	Type I	Type II
物理量	**位置**	長さ, 質量, 時間, 電流, 温度, 物質量, 光度, 角度, 立体角, 面積, 体積, 角速度, 角加速度, 速さ, 加速度, 周波数, 回転速度, 波数, 密度, 力, 力のモーメント, 圧力, 応力, 粘度, 動粘度, 仕事, 工率, 質量流量, 流量, 熱量, 熱伝導率, 比熱容量, エントロピー, 電気量, 電界の強さ, 電圧, 起電力, 静電容量, 磁界の強さ, 起磁力, 磁束密度, 磁束, インダクタンス, 電気抵抗, 電気のコンダクタンス, インピーダンス, 電力, 無効電力, 皮相電力, 電力量, 無効電力量, 皮相電力量, 電磁波の減衰量, 電磁波の電力密度, 放射強度, 光束, 輝度, 照度, 振動加速度レベル,濃度, 中性子放出率, 放射能, 吸収線量, 吸収線量率, カーマ, カーマ率, 照射線量, 照射線量率, 線量当量, 線量当量率
性質	天体に依存する	天体に依存しない
規定性	基準が必要。**取り決めに依存。**	宇宙で普遍的。
日本法	測量法	計量法

ISO 19161-1 による基準座標系の規定

TRF: Terrestrial Reference Frame, 基準座標系

基準座標系の種類 Types of TRF

（１）地殻に基づく基準座標系 → 電子基準点が基準
Crust-based TRF
電子基準点に基づく座標

（２）衛星エフェメリスによる基準座標系 → 衛星が基準点
Satellite Ephemerides based TRF
衛星に基づく座標

出典：自民党宇宙・海洋開発特別委員会, 2021

２０２０年代の社会ビジョン「PLANET 6. 0」

SOCIETY 1.0	SOCIETY 2.0	SOCIETY 3.0	SOCIETY 4.0	SOCIETY 5.0
狩猟社会 大自然との共存 ・遊牧民 ・採餌 ・原始的社会	**農耕社会** 文明の始まり ・定住 ・灌漑 ・農業 ・余剰と貿易	**工業社会** 人口の増加 ・大量生産 ・生活水準の向上 ・都市化	**情報社会** 情報とサービス社会 ・パソコン、スマホ ・インターネット ・デジタル化	**未来社会** フィジカル空間と サイバー空間の融合 ・AI、ロボット ・IoT, 5G, クラウド ・スマートシティー ・フィンテック、仮想通貨
Planet 1.0	**Planet 2.0**	**Planet 3.0**	**Planet 4.0**	**Planet 5.0**
宇宙があることを知る（天動説）	宇宙と地球の関係を知る/地球は宇宙に浮かぶ天体であることを知る(地動説)	宇宙へ行く時代(ロケットと探査機)	宇宙で活動する時代。地球軌道に物や人を運び、宇宙を利用するようになる。（宇宙ステーション）	宇宙の民主化の時代。民間が地球周回軌道上にロケットや衛星を飛ばし産業を形成する(衛星コンステレーション等)

▶

Planet 6.0

月と地球が一体化した循環型経済の形成

QBIC協議会で紹介された月測位関連技術（社会実装推進WG、2022-11-02）

picalico ピカリコ

picalicoの信号、受信仕様について

信号フォーマット

LEDを、色の順列パターンで発光し、IDデータを表現します

- **「赤」「緑」「青」**3色の発光を制御できるものが送信機
- **24回**の発光色切り替えで1つの情報(IDコード)を表現
- IDコードの数は**1,062,882個**（約20bit)

※12回の色切替でIDを表すショートフォーマットに切替可能
ショートフォーマット時のIDコードの数は、約1000通り

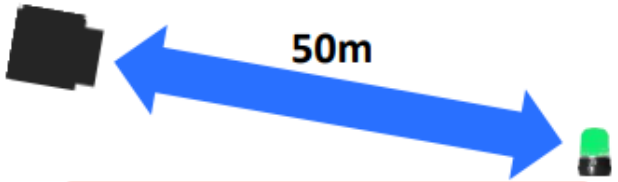
受信応答速度について

カメラのフレームレートと信号発光周波数で決定
picalicoの基本設定は、カメラ20fps、色信号は100ms切り替え(10Hz)です　(1~60fpsまで設定可能)

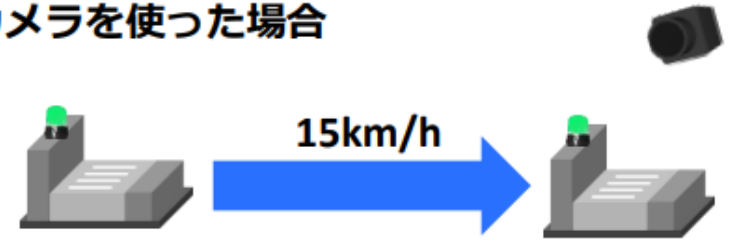
受信距離について

原理的にカメラ画像に色信号1ピクセル以上映っていれば受信　⇒　送信機の大きさと、カメラ解像度が受信距離に影響

10cmサイズのLED送信機とHD解像度カメラを使った場合



50m先の色信号を受信



時速15ｋｍの移動を追従

公開動画紹介

ディスカバリーチャンネル, 月探査｜宇宙新時代 (2019)
https://www.youtube.com/watch?v=3osBimWVKwU

NASA Moon Rover Books Ride to the Moon (2020)
https://www.youtube.com/watch?v=S9Y6n1G5hhc

テレ東, 月面全体の「地質マップ」初公開 (2020)
https://www.youtube.com/watch?v=BQf3GpyWBiA

TBS, 有人月面探査車試作機が初公開 背景に「アルテミス計画」(2022)
https://www.youtube.com/watch?v=mhnYKZKgeJg

公開動画紹介

ANN, 日本車が月面走るかも JAXA月面探査にトヨタ参加へ (2019)
https://www.youtube.com/watch?v=_qd8PsQTXiU

ANN, ANAとJAXA 月面のロボットを地上から遠隔操作 (2018)
https://www.youtube.com/watch?v=dOJg2TKmOkM

ANN, JAXAなど 月面「住宅」の建設を検証 南極で実験 (2019)
https://www.youtube.com/watch?v=qtLq60tCZ0A

米国の懸念と施策の動機

Civil GPS Service Interface Committee 2022 in Denver. CO
SSC, Page 6-7

Reference :
https://www.gps.gov/cgsic/meetings/2022/delapena.pdf

中国、世界初の量子通信衛星を打ち上げ (2021)

量子力学の測位応用に向けて

- 量子計算機・量子センサに関する研究
  測位技術振興会 **知能情報エネルギ分科会**
  - ・量子アニーリングによるGNSSアンビギュイティ解法
  - ・GNSS信号認証暗号の量子解読
  - ・量子センサ
    - 微小磁気検出
    - 量子リングジャイロ
    - 量子もつれのレーダ的な利用

    などを議論

- TOPIC: 2022年ノーベル物理学賞, 2022年10月4日
  『量子もつれ』が実在することの実証的研究

- 国連 GNSS国際会議 ICG-16 @UAEアブダビ, 2022年10月13日
  インド『「量子もつれ」による時間同期を利用した測位』

まとめ

1) 国際的に月測位に関する開発・連携が加速しています。

2) NASA, ESA, JAXA に続く形で産学官の技術者も参加しましょう。

3) 従来の地球型測位の知見を月測位に活かしましょう。

4) 移動体航法・資源開発・測量・建設などに利用できます。

【Q】 月測位研究会は、継続して開催したほうがよいですか？
【A】 次回研究会を開催します。