



# 有人与圧ローバーと LiDARを用いた走行制御

JAXA 有人与圧ローバーエンジニアリングセンター

河合 優太

1. 有人と圧ローバーの概要
2. 有人と圧ローバー走行系とLiDARを用いた走行制御
3. 要素試作車を用いた評価

# 1. 有人と圧ローバーの概要

居住機能 と 移動機能を併せ持った**”世界初”**の有人宇宙システム



©JAXA/TOYOTA

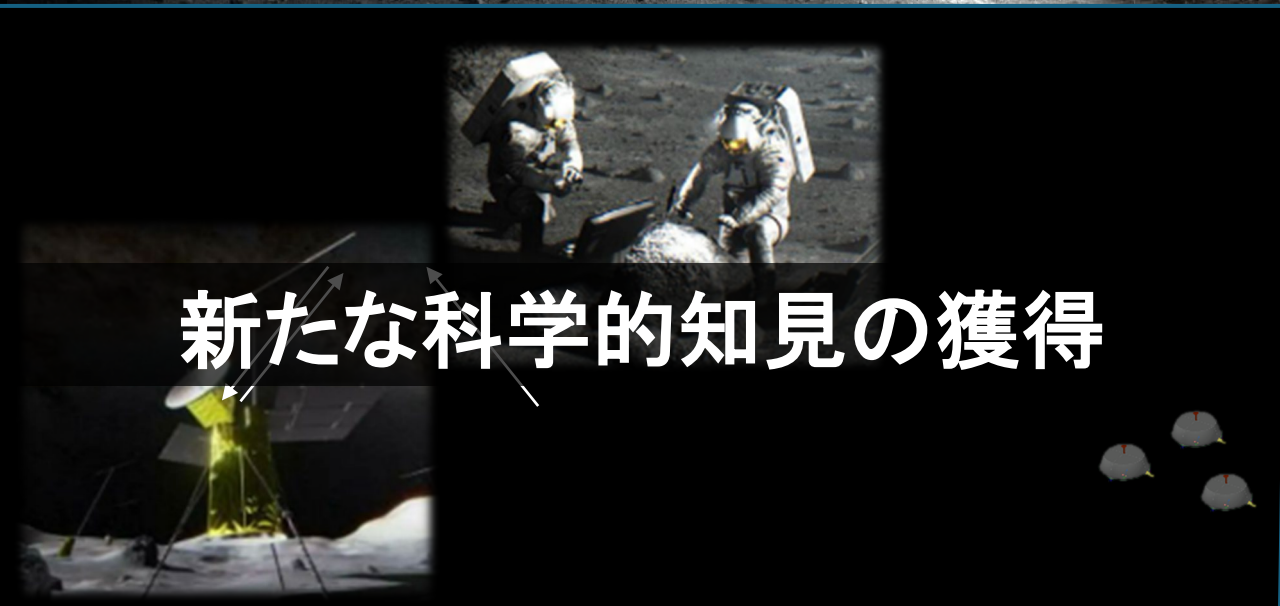




## アルテミス計画への貢献



## 人類活動領域の拡大



## 新たな科学的知見の獲得

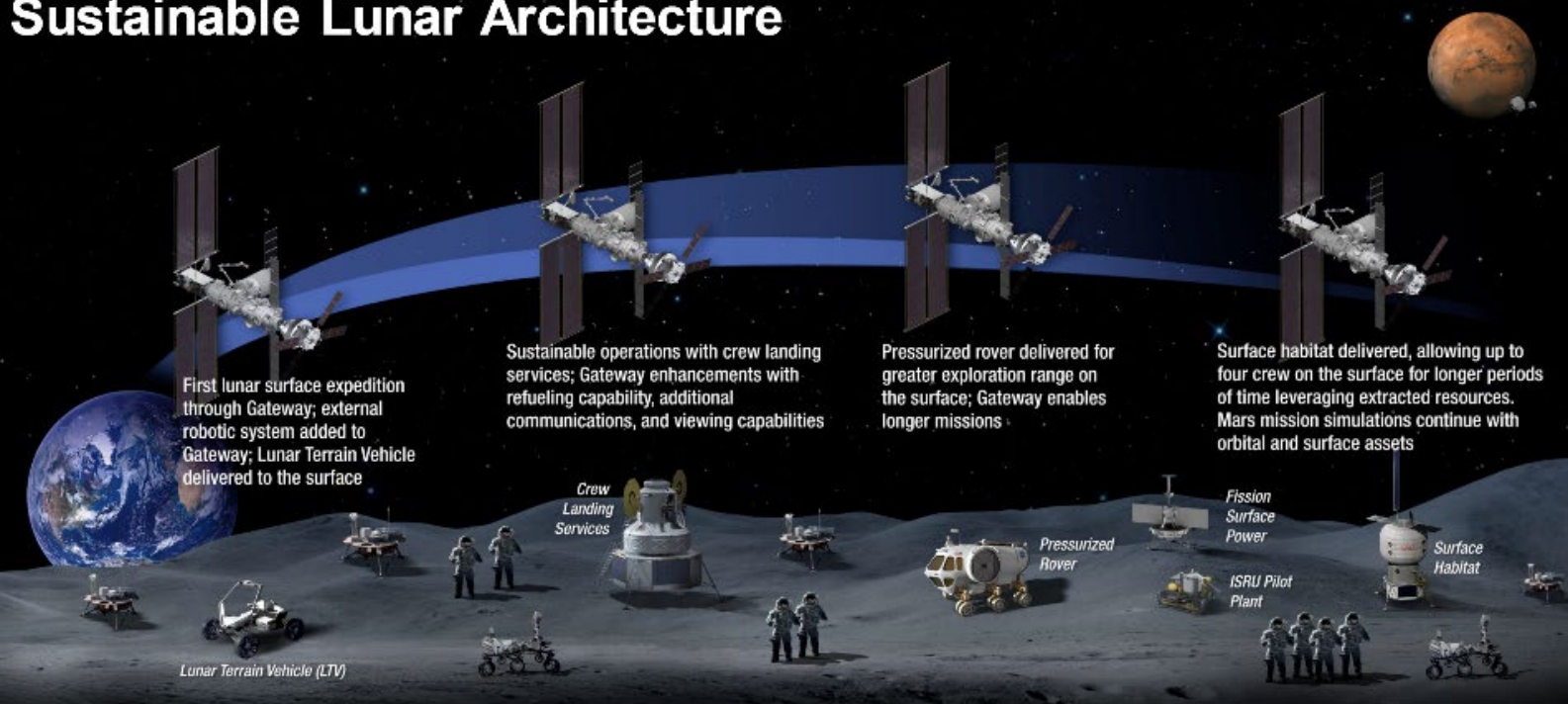


## 将来の有人火星探査に向けた 技術の事前実証および獲得



米国の有人宇宙飛行計画であるアルテミス計画を実現する様々な宇宙機のうち、月面における居住機能と移動機能を併せ持った宇宙機として日本が有人圧ローバーを提供することで国際貢献を果たす。

## Sustainable Lunar Architecture



**CAPABILITIES TO ENABLE SCIENCE-FOCUSED SURFACE EXPLORATION AND MAXIMIZE DEEP SPACE DISCOVERIES**

MULTIPLE SCIENCE AND CARGO PAYLOADS | U.S. GOVERNMENT, INDUSTRY, AND INTERNATIONAL PARTNERSHIP OPPORTUNITIES | TECHNOLOGY AND OPERATIONS DEMONSTRATIONS FOR MARS



有人圧ローバーを活用した月面探査に係る NASA/文部科学省間の合意文書が4月10日に締結

また、その貢献により、日本人宇宙飛行士の活躍の機会を確保する等、我が国の宇宙先進国としてのプレゼンスを発揮する。

走行技術・滞在技術等の  
獲得技術を発展させ月面・  
走行・レゴリス等の  
取得したデータを公開・活  
用することで  
水資源プラント、推薬生成  
プラント、月拠点等の月面イ  
ンフラ構築、民間との連携  
等の月面活動が促進され  
更なる人類の活動領域の  
拡大に資する。



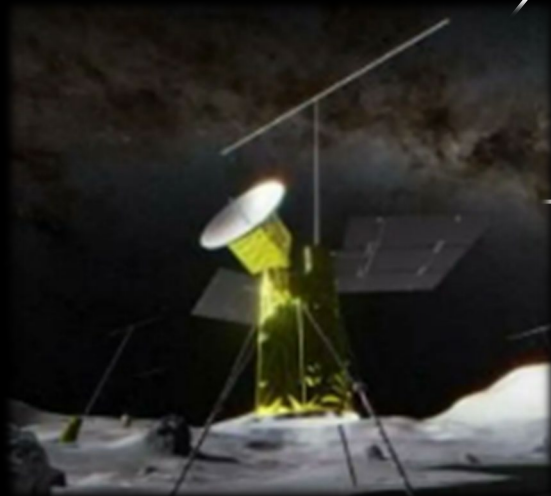
©JAXA



サンプルリターン

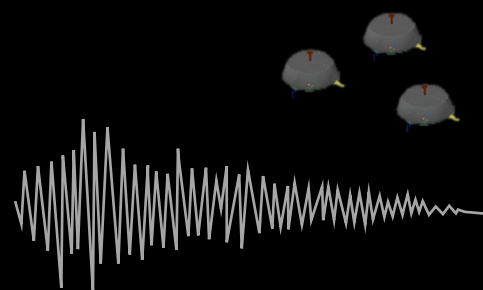


月面天文台



## 月面3科学

月震計ネットワーク



定期的な月面輸送機会を活用することで、有人時には宇宙飛行士によるサイエンス機器の組立・設置、チューニング、操作・修理等が、無人時には広域探査能力を活用したサイエンス機器の運搬やロボットアーム等による設置、地盤の掘削、サンプル採取等が可能となる。



## 地球とは異なる環境

低重力(1/6G)

長い夜

限られたエネルギー

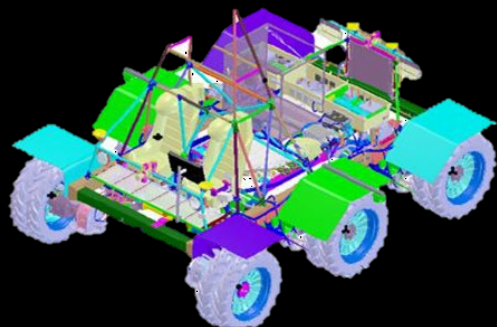
過酷な熱環境

走行技術

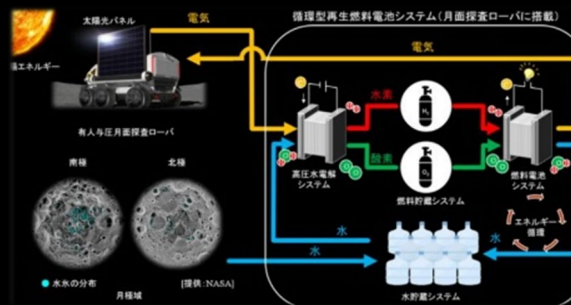
越夜技術

展開収納技術

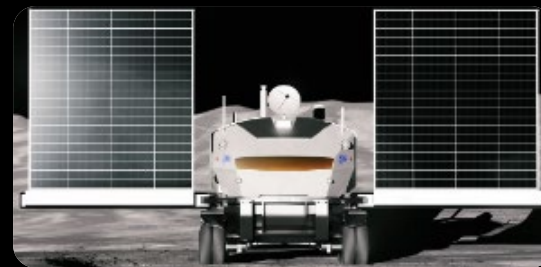
熱制御技術



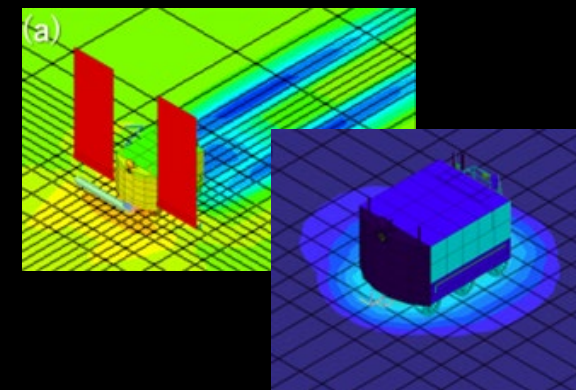
試験+シミュレーション



再生型燃料電池



収納して走行、停車して発電



低温: -200℃、高温: +30℃



獲得した技術は、次の月探査、そして有人火星探査へ！

日照条件(場所、時間毎に刻々と変化)

通信条件(地球、Gateway、月周回衛星)

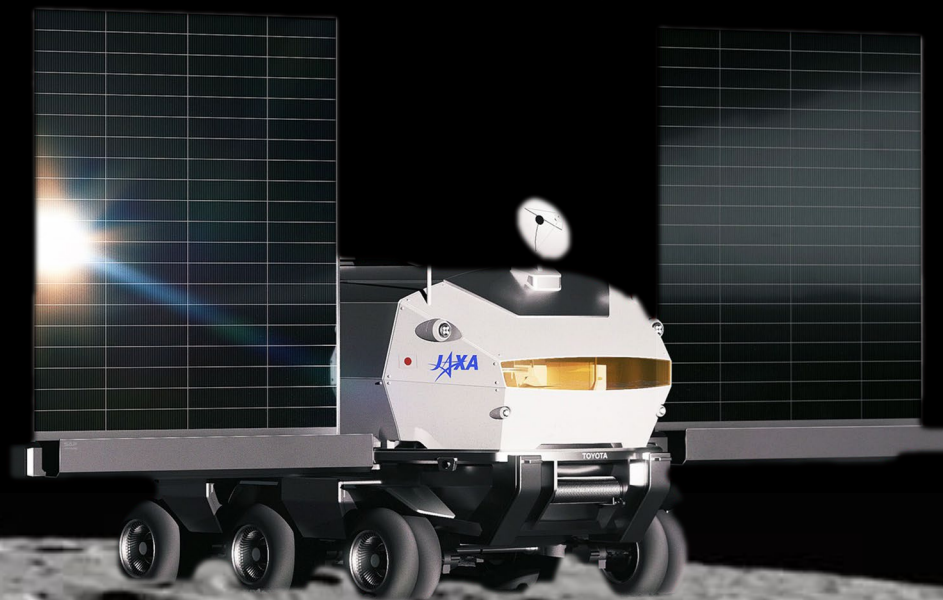
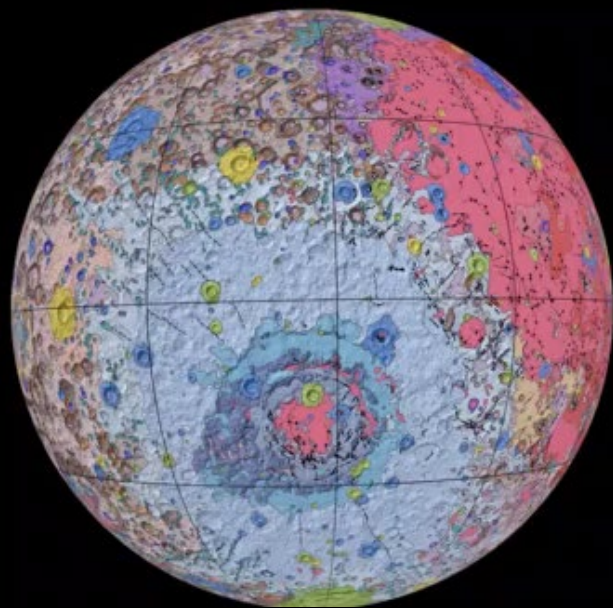
地形(傾斜、岩石やクレータの分布)

土壌(摩擦係数、スリップ率、帯電)

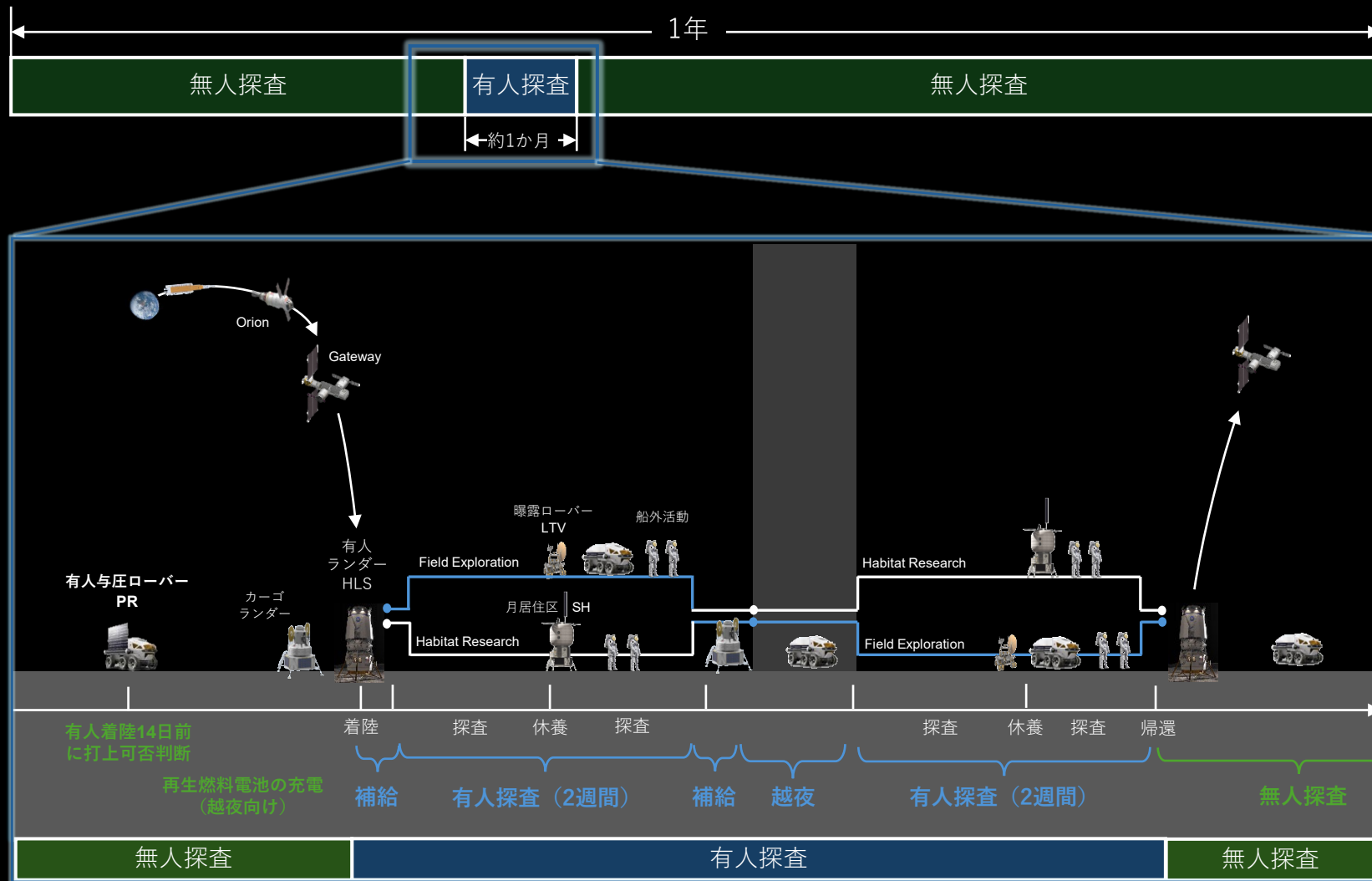


エネルギー収支(発電、電力消費、蓄電)

熱収支(発熱、輻射、電熱)







- 運用期間は**10年間**
- 1年のうち約**1か月**は宇宙飛行士がローバーに搭乗し月面探査を行う「**有人探査**」期間
- 残り**11か月**は遠隔操縦およびロボティクスによる「**無人探査**」期間
- 何のために、いつ、どこで、誰が、どのくらいの距離を探査するかという「**運用シナリオ**」によって**ローバーの設計が大きく変わる**

有人探査 ミッション 要求	運用期間	2031年～
	探査領域	南極域(フェーズ1)
	クルー人数	2名
	有人ミッション頻度	1回/年
	有人ミッション期間	28日(+異常時対応3日)
	越夜能力	有人:36h、無人:192h
	連続走行距離	18 km/1充電
	EVA頻度(クルー)	7回/2週
システム 走行性能  (検討中)	総走行距離	10,000 km(目標)/10年間
	最大速度	15km/h
	最大斜度	±15度
	障害物乗越え性能	30 cm @平坦路 7 cm @15° 傾斜路



## 2. 有人と圧ローバー走行系とLiDARを用いた 走行制御



走行系は、クルーの**手動操縦**、**遠隔操縦**および**自動操縦**により、目的地に移動する機能を提供する。

### 【走行系の主要機能】

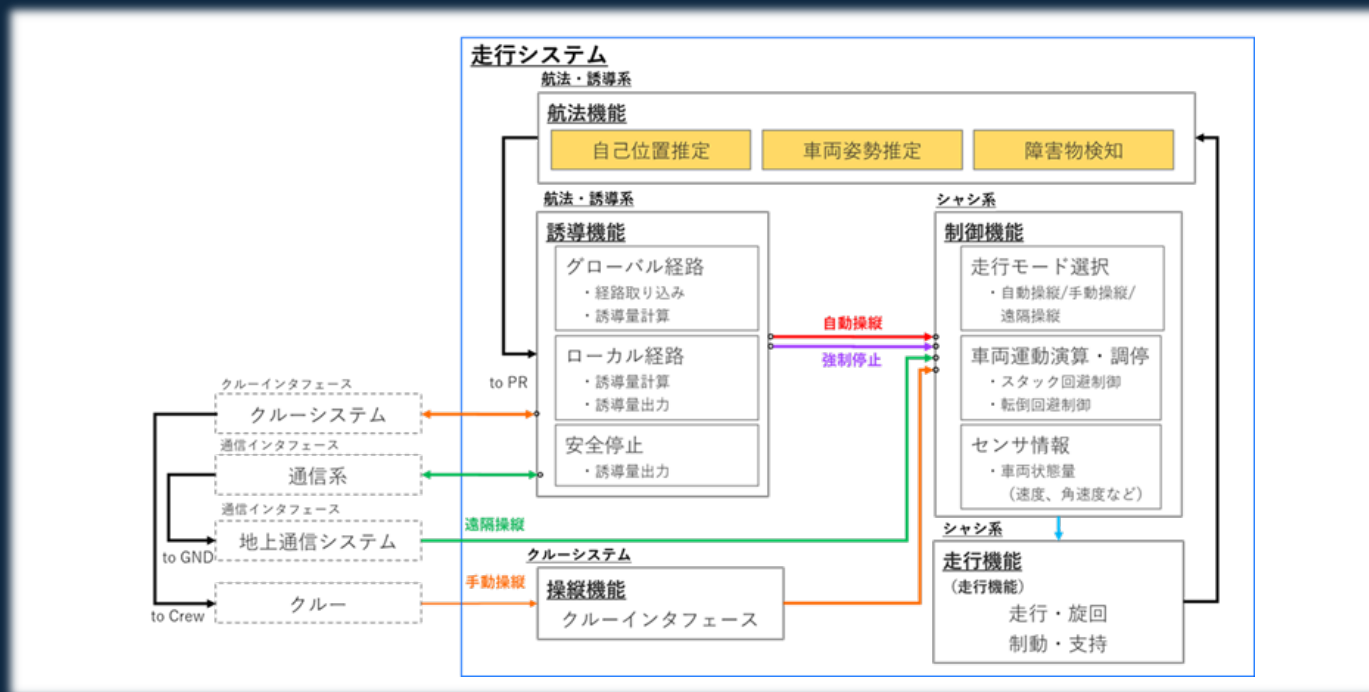
**航法機能**：自己位置と車両姿勢の推定および障害物検知を行う。

**誘導機能**：地上で計画するグローバル経路とオンボードのセンサ情報を組み合わせ経路計画を行う。

**制御機能**：車両運動演算および各操作指令の調停を行い、走行機能に制御指令を行う。

**走行機能**：制御指令に基づき、走行・旋回・制動・支持を実施する。

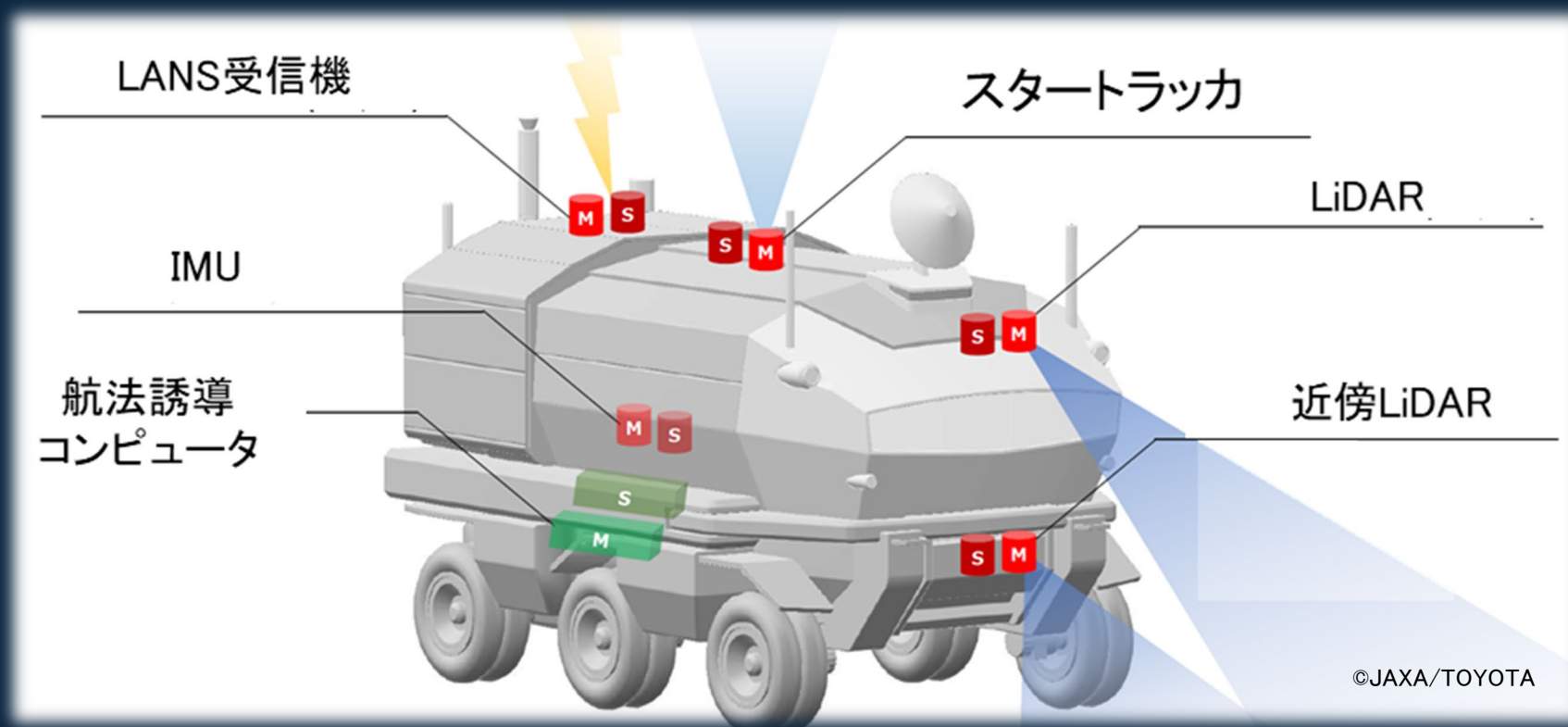
**操縦機能**：クルーが操作量を入力するインターフェースおよび身体支持機能を提供する。





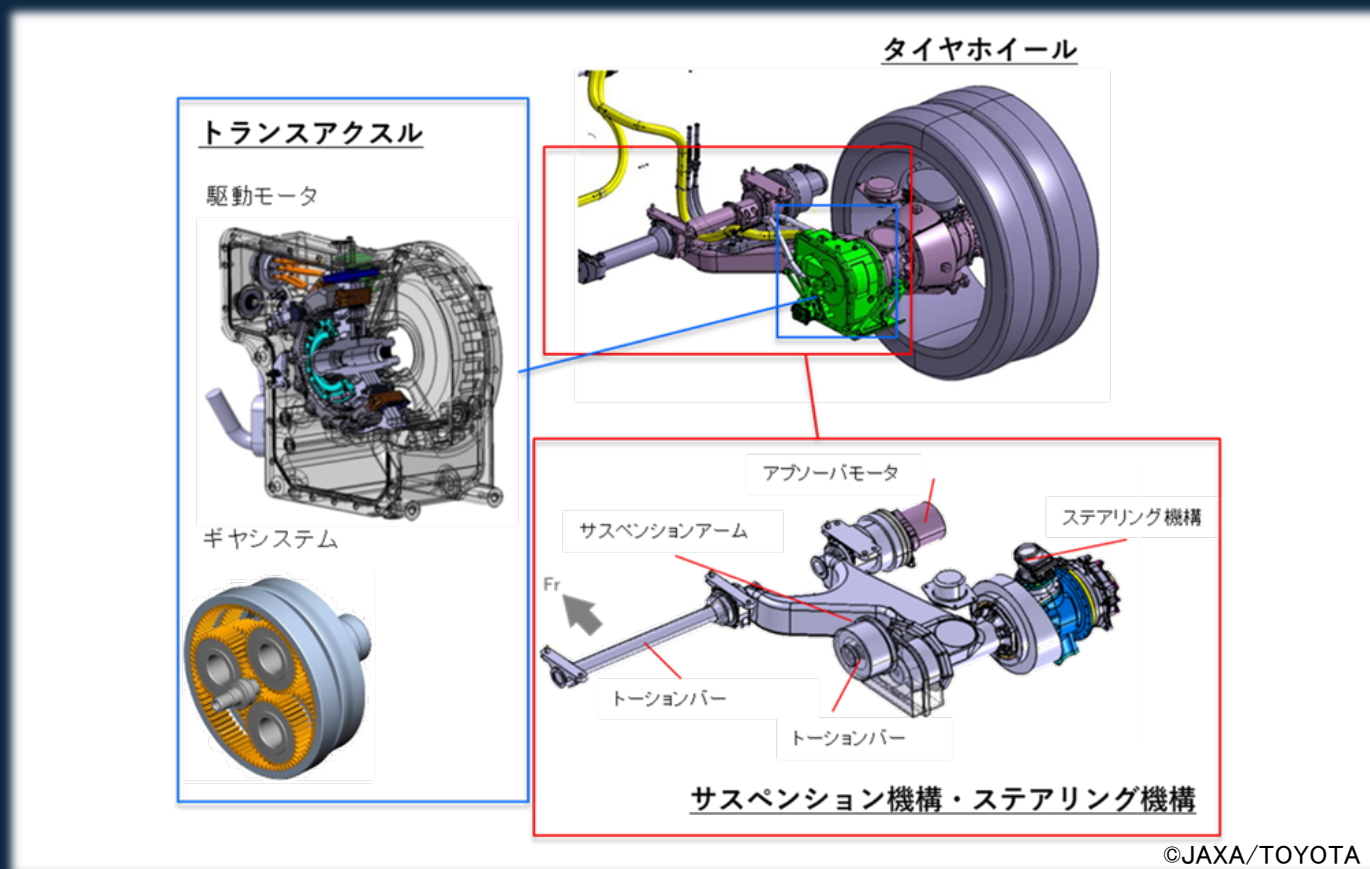
## 構成系(航法誘導系)

- 航法誘導系は位置推定機能に用いる**LANS受信機**、車両姿勢推定機能に用いる**スタートラッカ**および**IMU**、障害物検知および経路計画に用いる**LiDAR**、航法誘導演算を行う**航法誘導コンピュータ**から構成される。

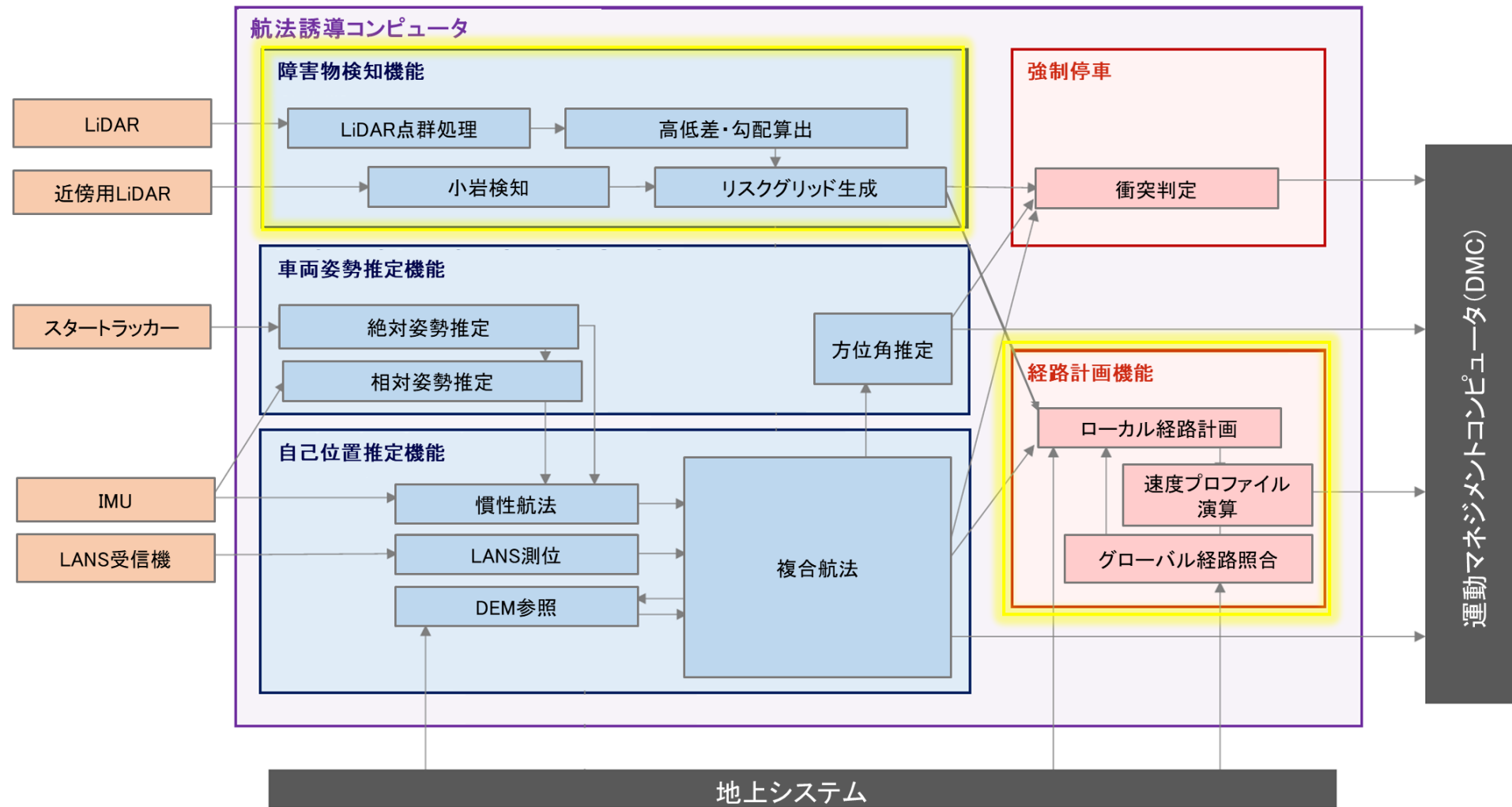


## 構成部品(シャシ系)

- シャシ系は駆動制動機能を担うトランスアクスル、ドライブシャフト、操舵機能を担うステアリング機構、車重を支持するサスペンション機構、タイヤアセンブリおよび制御演算を行う運動マネジメントコンピュータから構成される。







©TOYOTA

## システム仕様とLiDAR仕様の関係

## システム仕様

経路を生成するために

- 20m先の高さ27cmの障害物を検知する。
- 20m先の15度勾配を検知する。

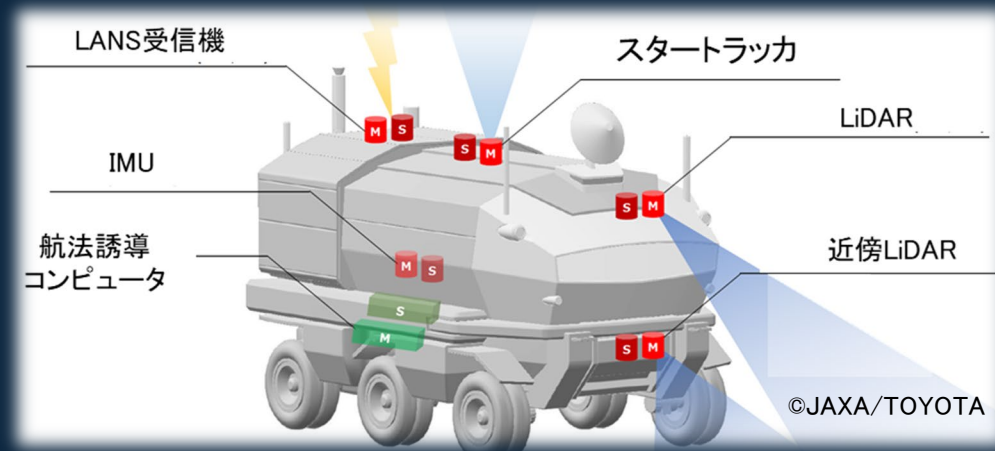
シャシ系への疲労荷重の観点から、障害物手前で減速するために

- 4.8m先の高さ14cmの障害物を検知する。
- 2.7m先の高さ7cmの障害物を検知する。

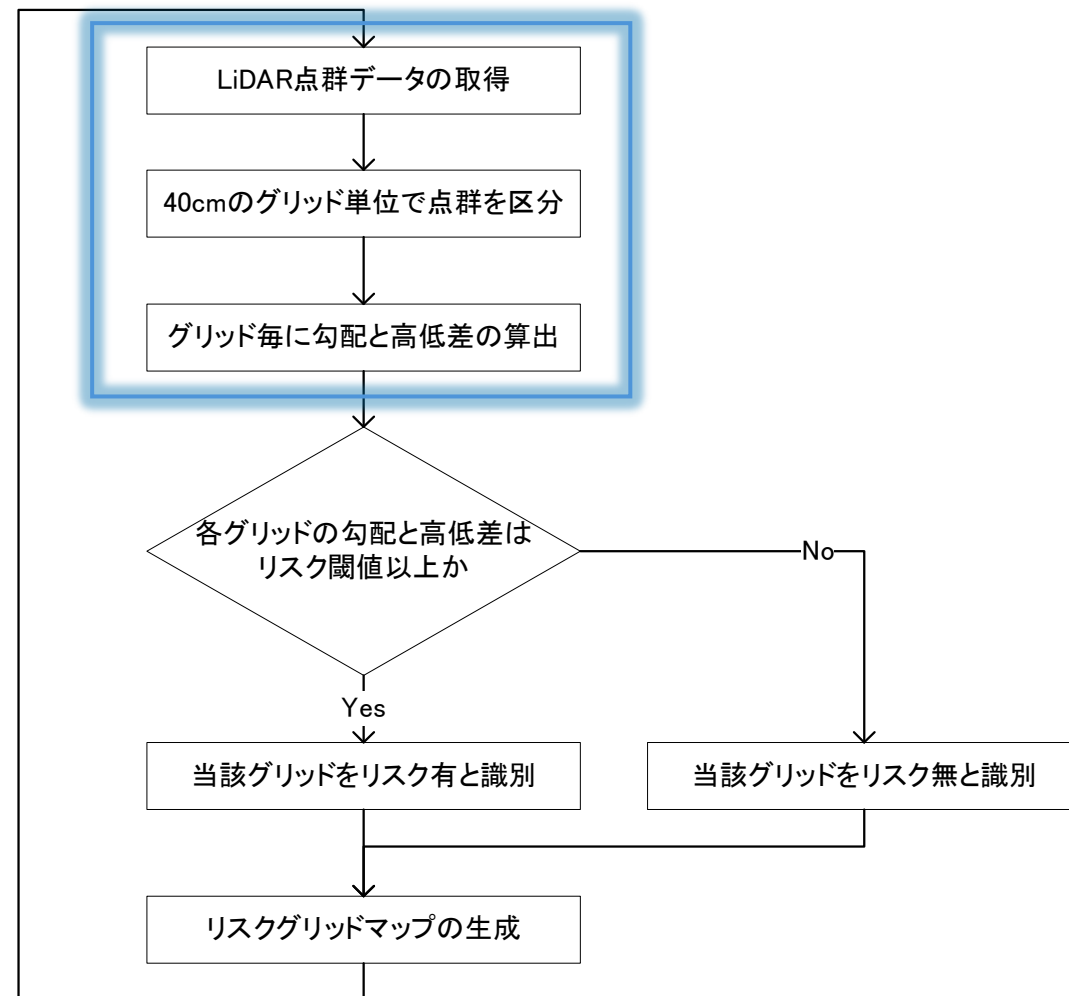
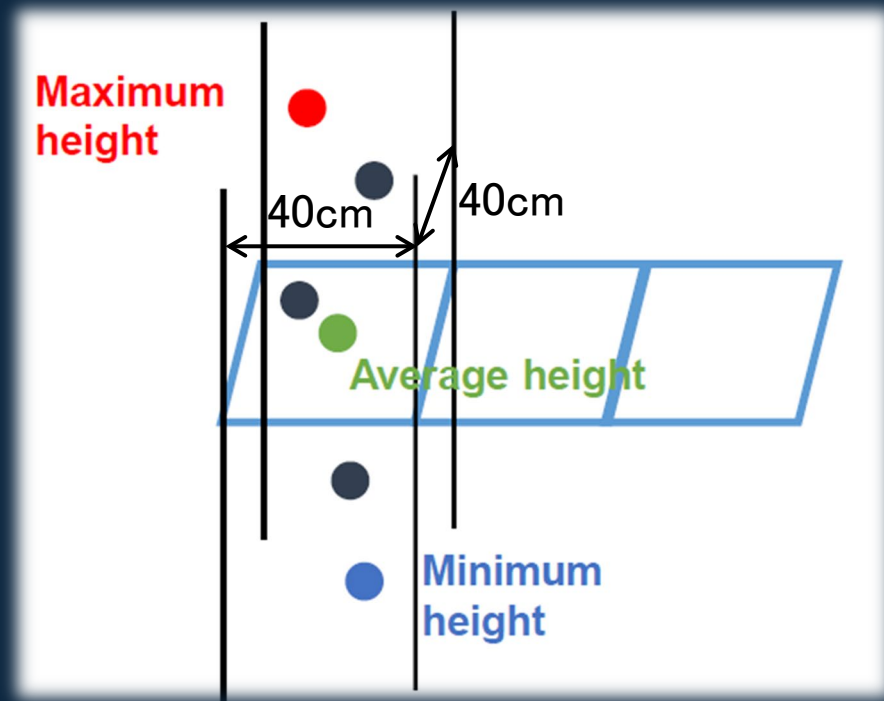
最小回転半径は17.6m以下とする。

## LiDAR仕様

測距レンジ	$\geq 30\text{m}$
縦方向視野	$\geq 30\text{deg}$
水平方向視野	$\geq 127\text{deg}$
縦方向分解能	$\geq 0.27 \text{ deg}$
耐宇宙環境	TID $\geq 100\text{krad}$ SEL $\geq 70\text{MeV}$

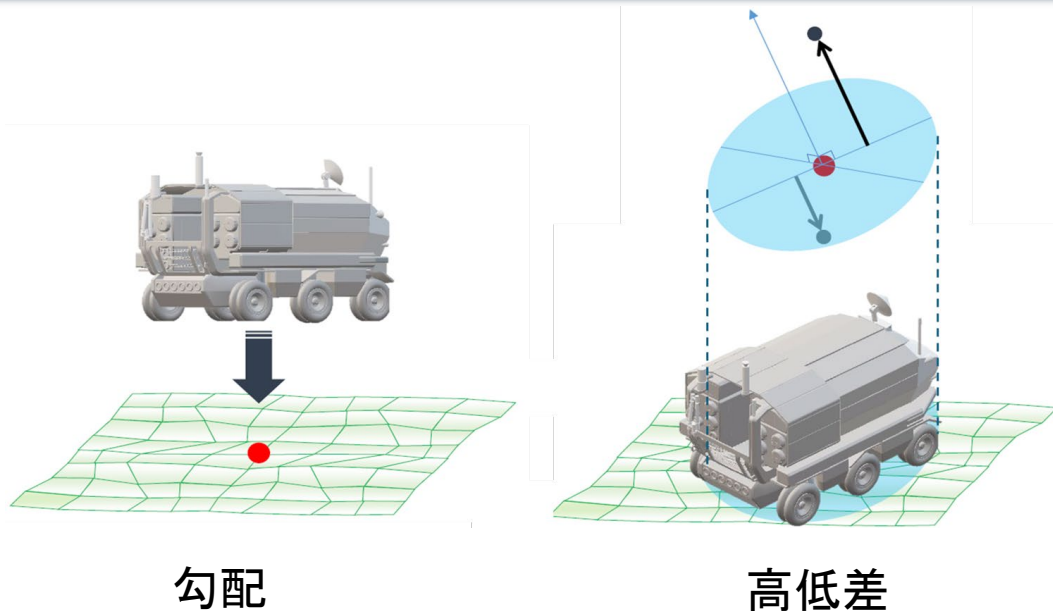


- 処理負荷低減の観点から、点群データは蓄積せずに瞬時点群を用いる。
- 点群データは40cm単位のグリッドに区切って、処理することで保持する情報量を低減する。

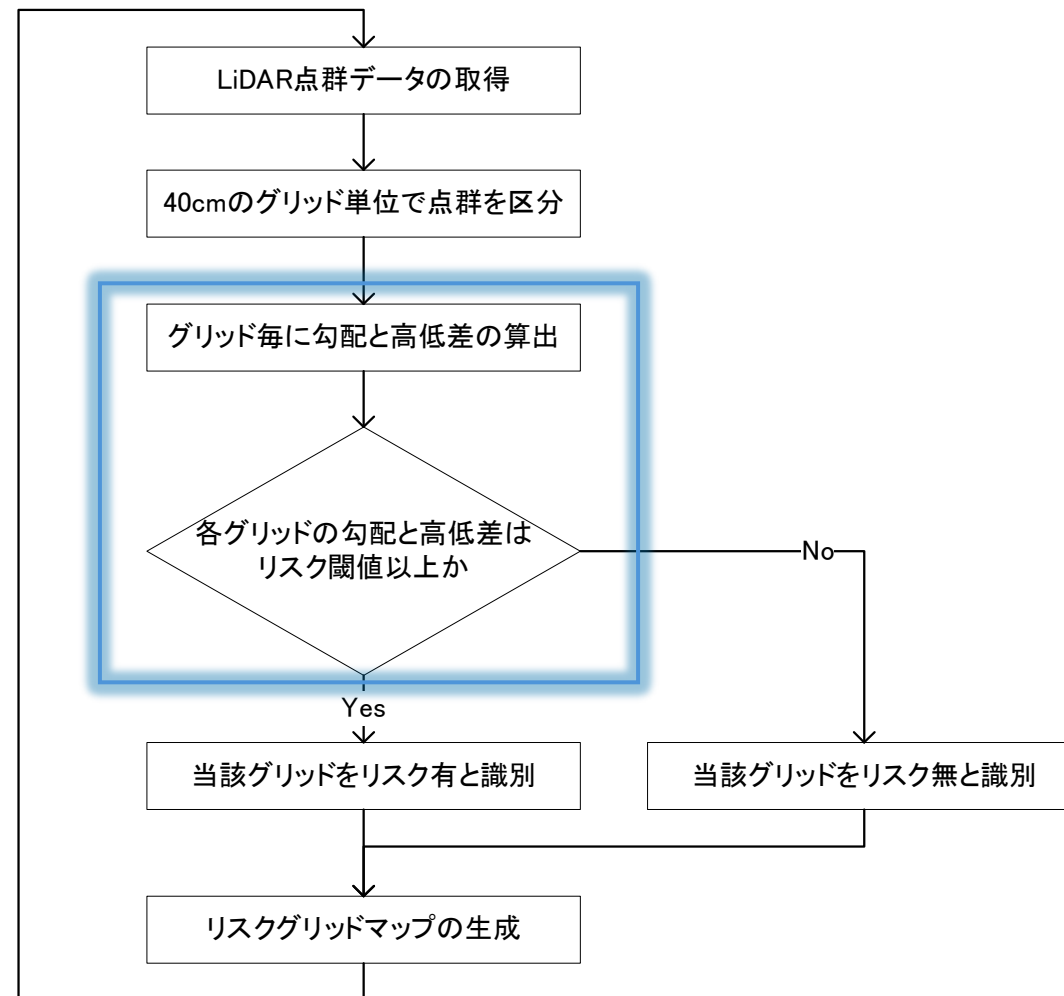




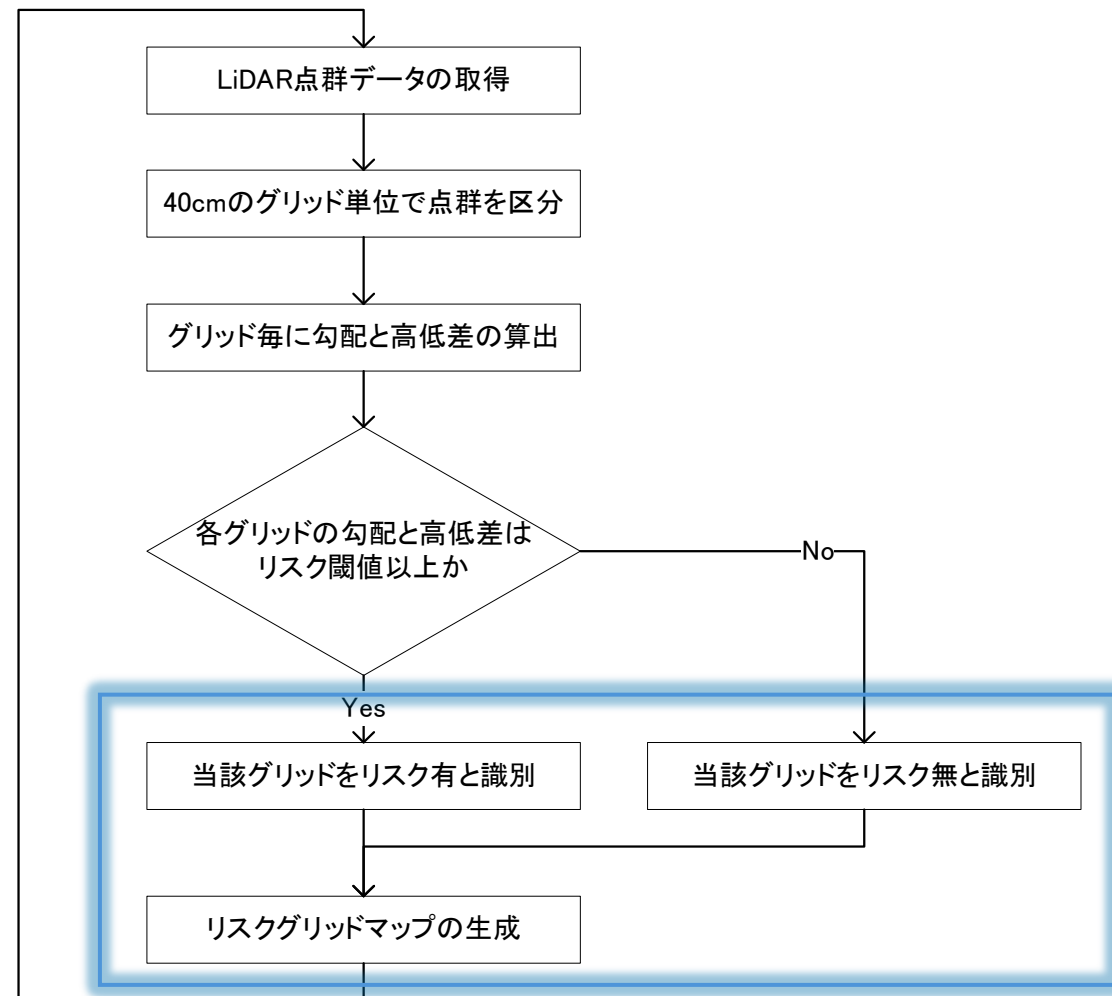
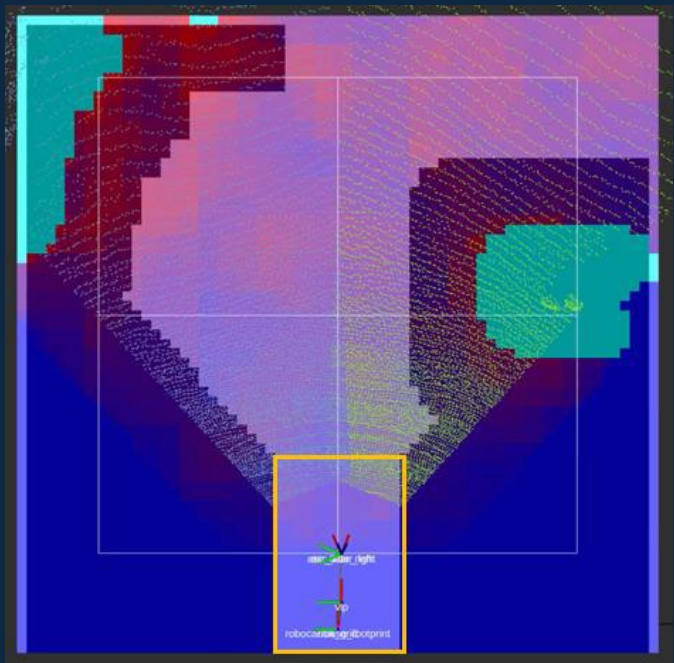
- 勾配は、各グリッド中心に有人と圧ローバーを置いた場合の平面の傾きを計算する。
- 高低差は、各グリッド中心に有人と圧ローバーを置いた場合の平面からの高低差を計算する。



©JAXA/TOYOTA

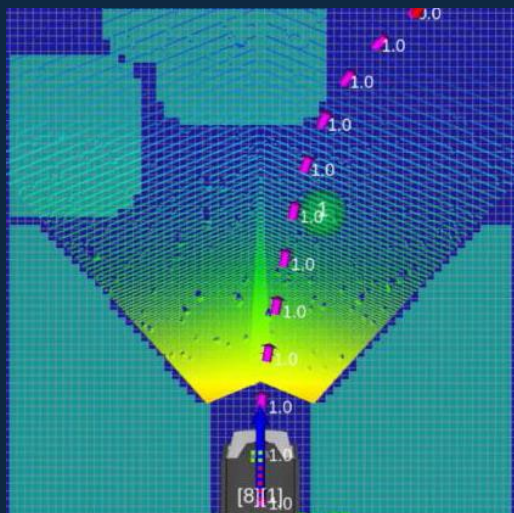
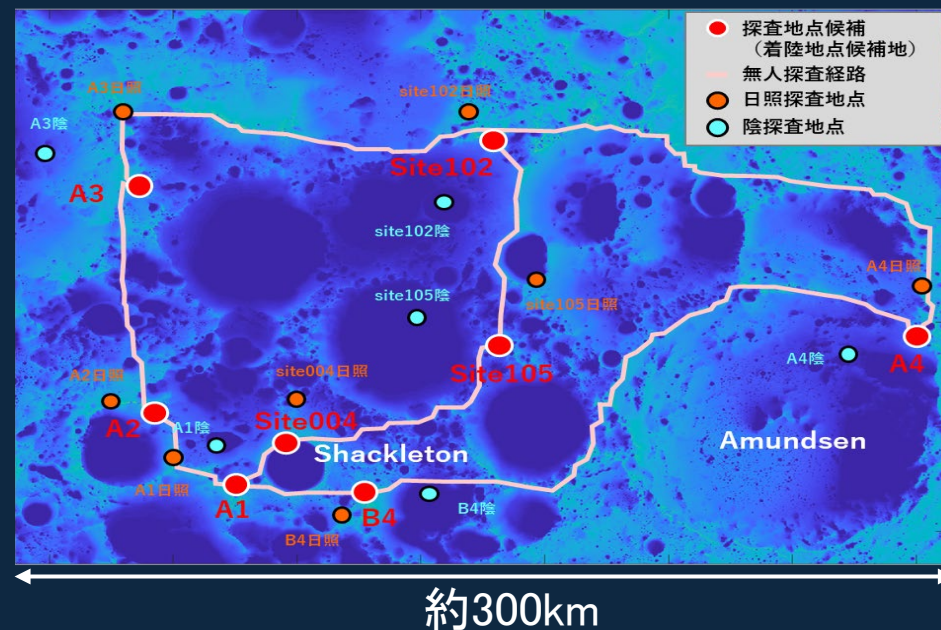


- 勾配が15deg以上、高低差が27cm以上はリスク有と判断して、走行不可領域として識別する。
- 高低差が27cm以下であっても、減速のための閾値として14cmや7cmも設定する。
- 各グリッドのリスク識別結果をまとめた地図(リスクグリッド)は、強制停車指令や経路計画機能に活用する。



## グローバル経路計画(地上管制にて計画)

- 月周回衛星の観測データをもとに作成された月面標高地図を使い、走行可能経路を識別
  - 必要電力、移動時間、日照条件などの複数条件を考慮した最適経路を算出

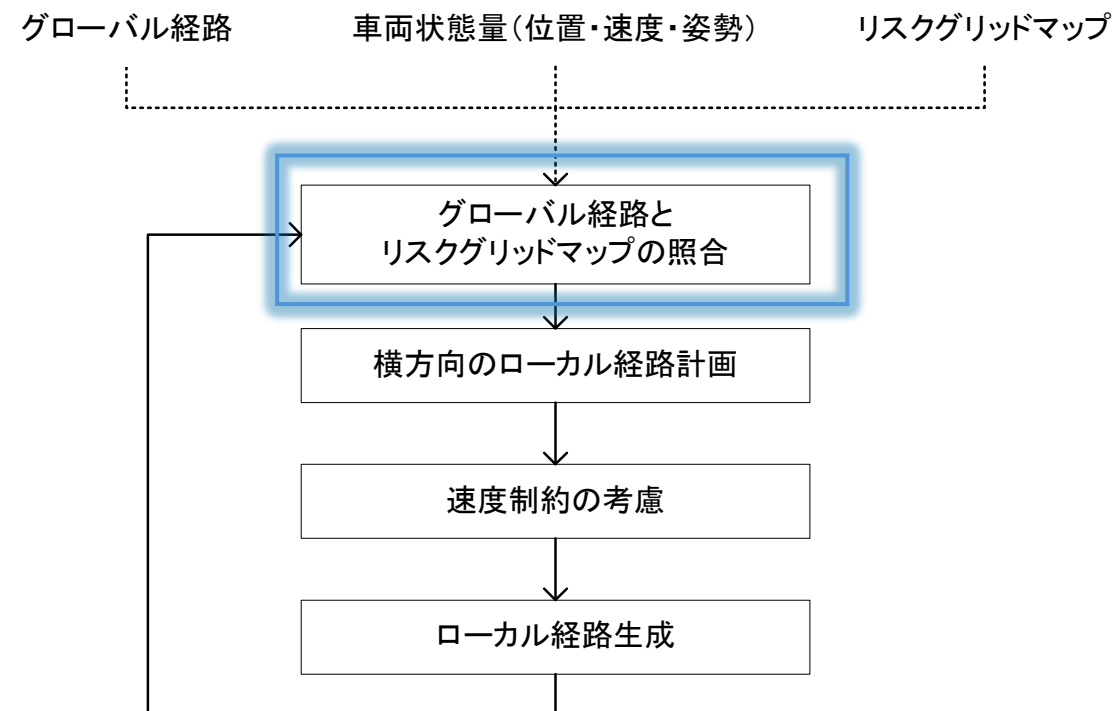
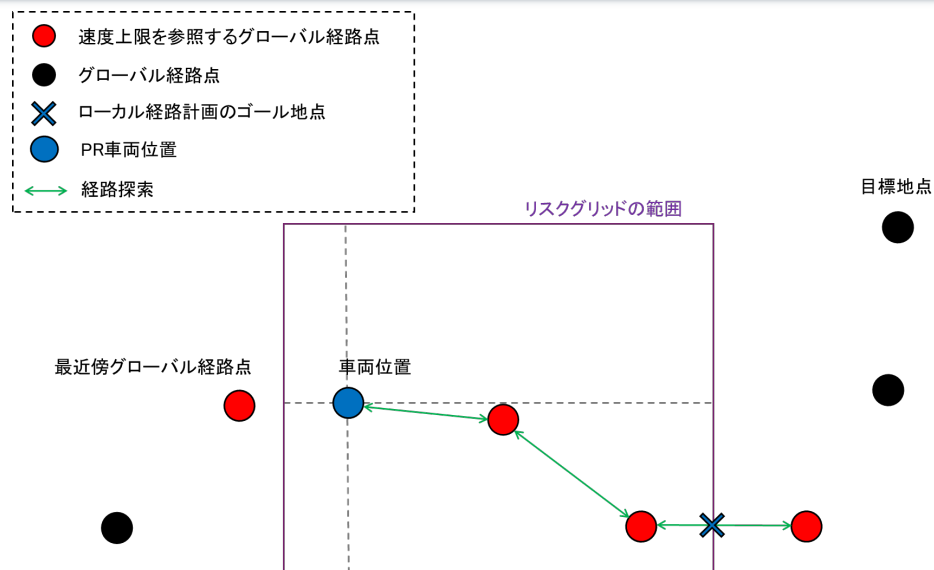


## ローカル経路計画(オンボード機能)

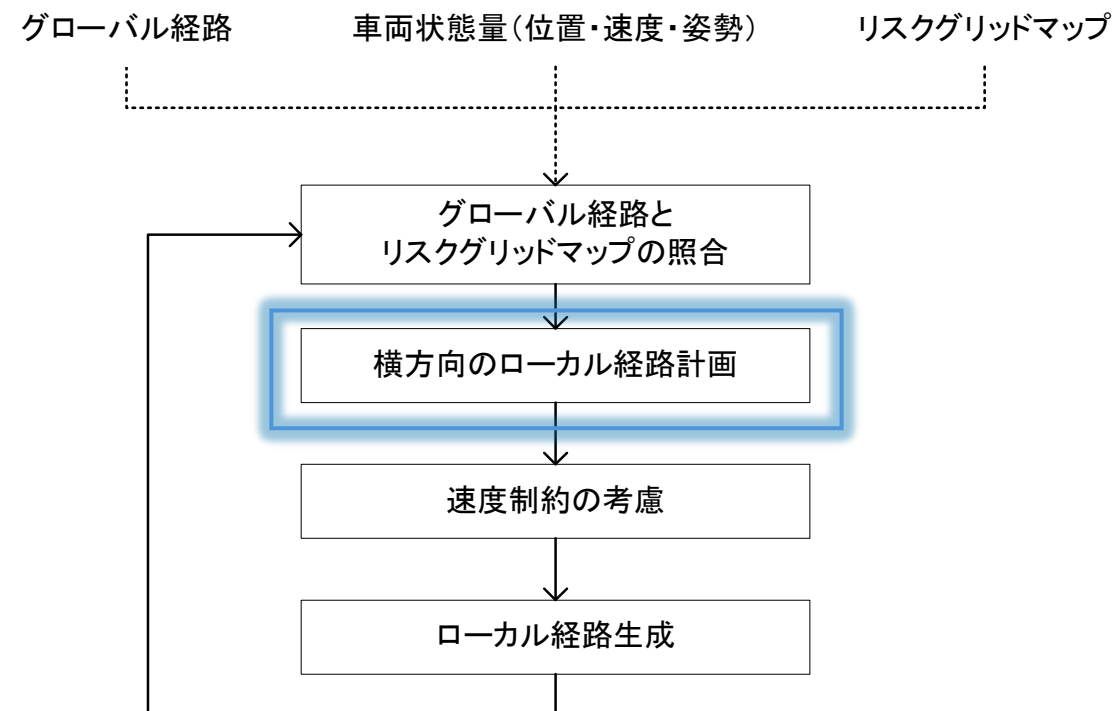
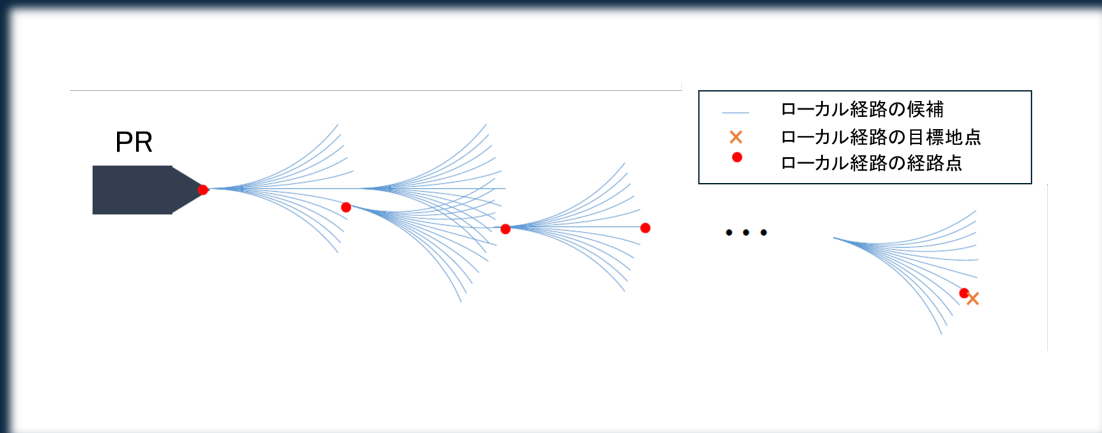
- 車体前方のLiDARセンサを用いて地形と障害物の情報を取得
- グローバル経路計画と自己位置推定値、LiDARセンサで得た地形・障害物情報に基づき、ローカル誘導量を算出



- グローバル経路計画の経路点とリスクグリッドを照合して、ローカル経路の目標地点を設定する。



- Hybrid A\*アルゴリズムに基づき、リスクグリッド上の走行可能領域上に経路を生成できるよう探索する。
- 計算負荷低減のため、ヒューリスティックな探索アルゴリズムを採用した。



### 3. 要素試作車を用いた評価



- 要素試作車の電子部品は地上試験を想定したものであり、大気中・常温下での試験に用いる。  
耐月面環境性能については、熱真空試験等を別途実施することで評価する。
- LiDARやタイヤ・駆動モータ等の各機器のレイアウトは概念設計と整合する位置としている。

LiDAR(高さ3.7mに設置)

ロールバー



サスアーム



駆動モータ・減速機



表 要素試作車概要

項目	諸元
トレッド	3,200 mm
ホイールベース	4,060 mm
全長	5.3 m
全幅	4.4 m
車両質量	3,200 kg



- 検証すべき走行システムの性能要求に基づき①登坂路、②加減速路、③障害物路、④旋回路の4コースをトヨタ自動車東富士研究所に造成した。
- 走行路面には、月面模擬土壌となる材料として、いわき珪砂(5.5号)を選定。選定理由としては、かさ密度や内部摩擦角が月レゴリスに近いことと、屋外管理の観点から湿度による特性変化が小さいことも考慮した。



①登坂路  
(20度勾配)



②加減速路

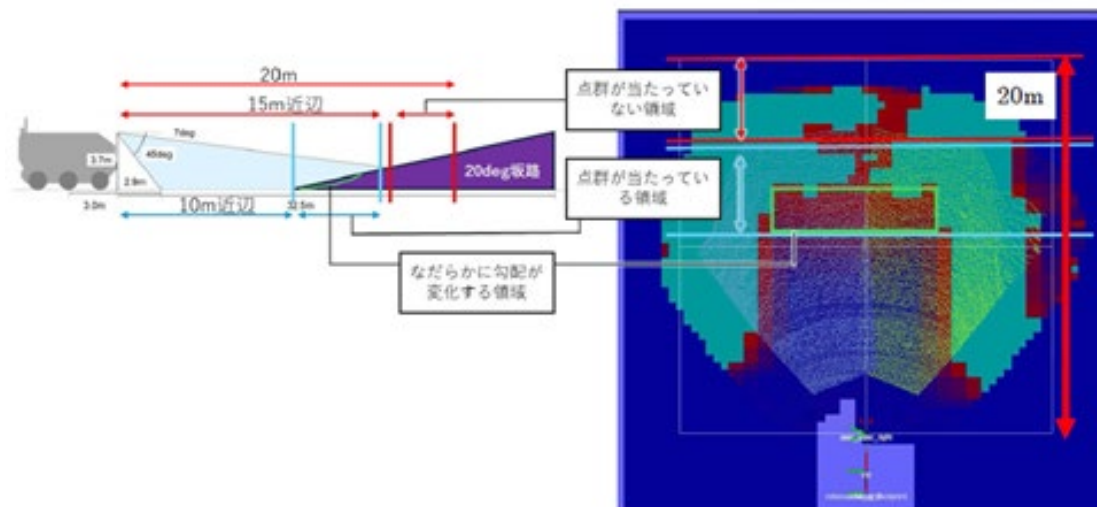
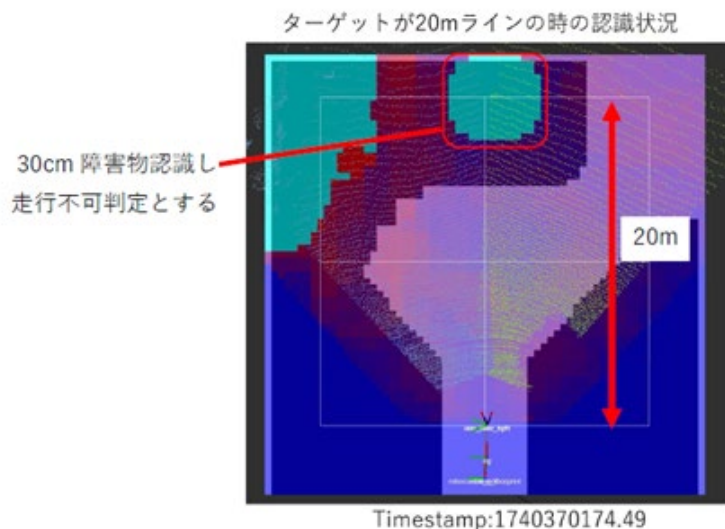


③障害物路



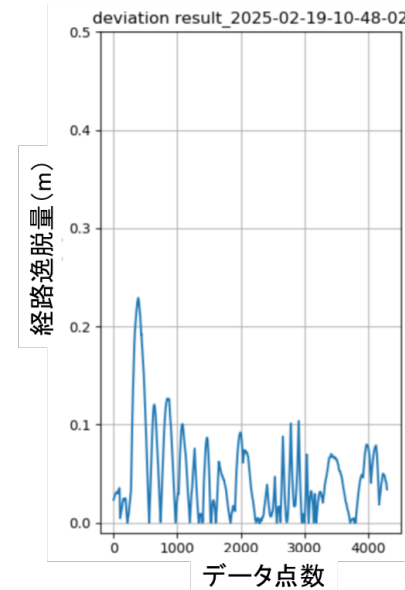
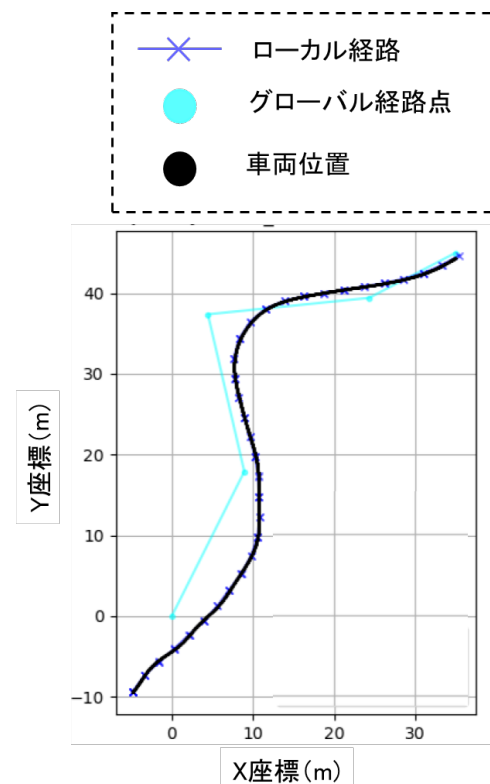
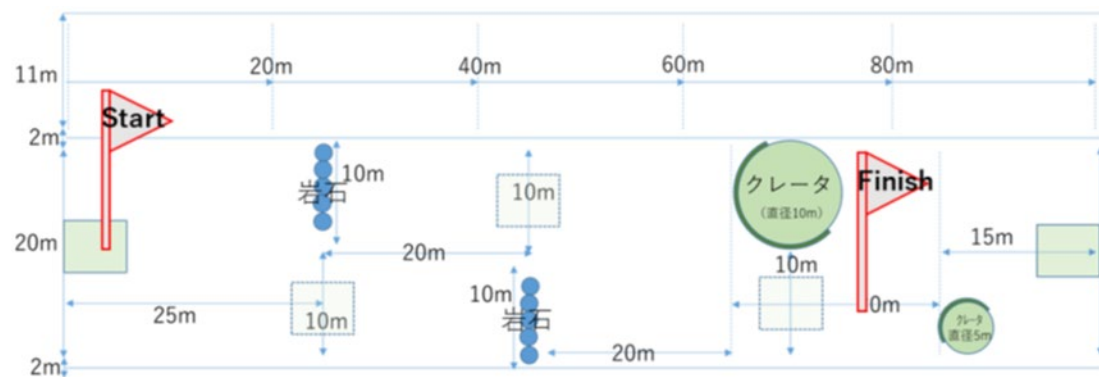
④旋回路

- 障害物との距離が40mの地点から車速3.5km/hの速度で高さ30cmの障害物(直径30cmの半球形状)に向かった走行する試験を実施した。障害物との距離20m地点のリスクグリッド(左図)から、障害物を走行不可と判定できていることがわかる。
- 20degの登坂路に向かって走行する試験でも同様に勾配を走行不可領域と判定できている。





- 要素試作車で、ローカル経路計画に沿った走行制御を実施した。走行軌跡から、グローバル経路上に設定された目標地点に向けて、障害物である岩石およびクレータを検知して、回避する経路計画が出来ていることがわかる。
- 但し、本試験では経路計画機能の有効性を評価するために、航法値はGNSS受信機による高精度な推定値を用いて試験している。



## 有人と圧ローバーの検討状況として以下を説明した。

- 有人と圧ローバー特徴、ミッション目的、運用シナリオ、月面環境等の概要を紹介した。
- 有人と圧ローバー走行システムの概要として、機能ブロック図や構成品を紹介した。
- 走行システムの航法誘導系についてLiDAR仕様および、LiDARを用いた機能として障害物検知機能と経路計画機能のアルゴリズムを紹介した。
- 障害物機能と経路計画機能のアルゴリズムの有効性を要素試作車を用いて評価している様子を説明した。

## 今後の方針

- 走行試験結果および概念設計結果を有人と圧ローバーの基本設計に反映することで、確実に月面を走破可能な走行システムの開発を進める。