



# MMXローバ用ラマン分光装置(RAX)の開発

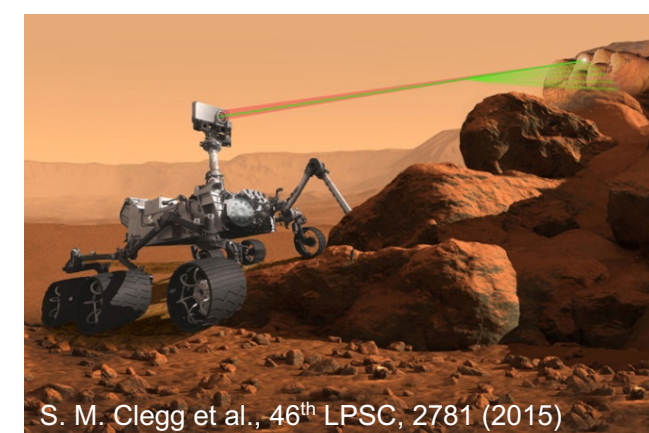


長 勇一郎<sup>1\*</sup> ([cho@eps.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:cho@eps.s.u-tokyo.ac.jp)), 湯本航生<sup>1</sup>, 亀田真吾<sup>2</sup>, 臼井寛裕<sup>3</sup>, 小川和律<sup>4</sup>, 舘野直樹<sup>4</sup>, Conor Ryan<sup>5</sup>, Till Hagelschuer<sup>5</sup>, Maximilian Buder<sup>5</sup>, Roderick Vance<sup>5</sup>, Ute Böttger<sup>5</sup>, Heinz-Wilhelm Hübers<sup>5</sup>, Andoni Moral<sup>6</sup>, Fernando Rull<sup>7</sup>

<sup>1</sup>東京大学, <sup>2</sup>立教大学, <sup>3</sup>ISAS/JAXA, <sup>4</sup>国際宇宙探査センター/JAXA, <sup>5</sup>Institute of Optical Sensor Systems/DLR, <sup>6</sup>Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, <sup>7</sup>Universidad de Valladolid

## ラマン分光

- レーザを対象に照射、レイリー散乱光をカットして微弱なラマン散乱光を分光観測  
→ 表面の鉱物組成・有機物・水の検出が可能



- 今後の探査機への搭載

- SuperCam (Mars 2020)
- Raman Laser Spectrometer (RLS) (ExoMars 2020)
- Raman Spectrometer for MMX (RAX) on JAXA's Martian Moons Exploration Mission to Phobos

## 科学目標

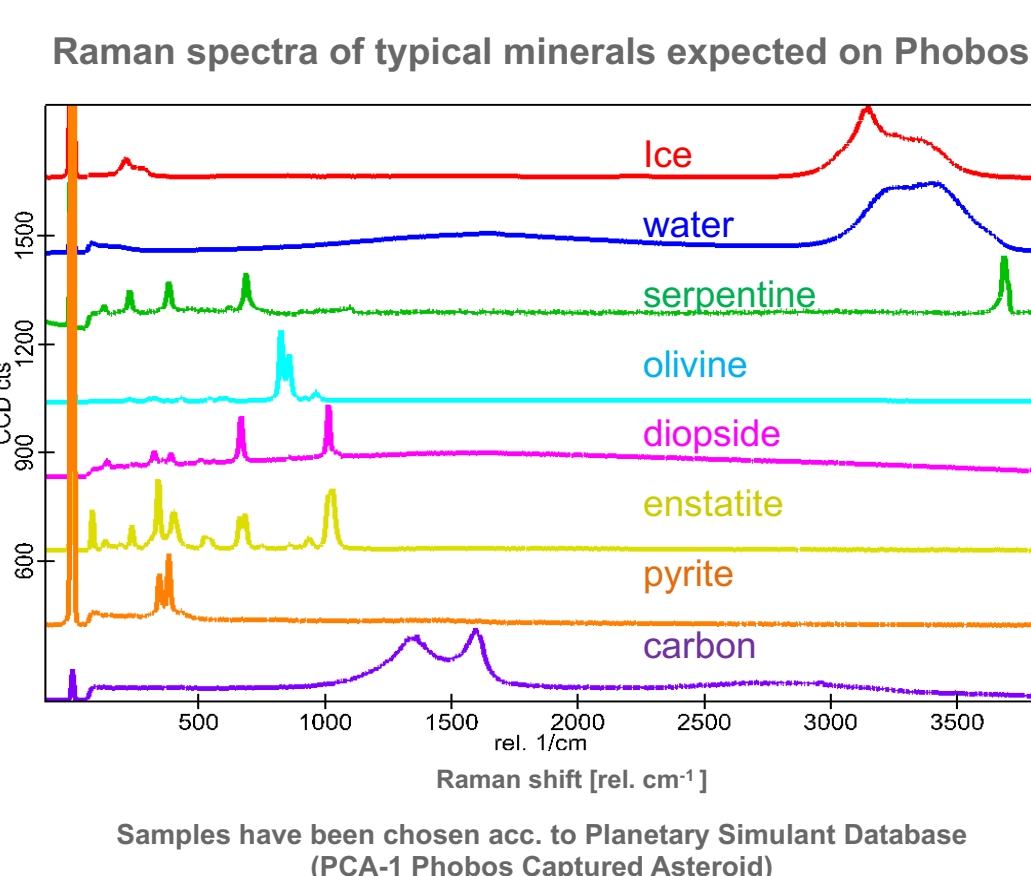
- フォボス表面の鉱物組成の決定
- フォボスの異なる地点における物質の不均質測定
- サンプリング地点の特徴づけと帰還サンプルの選定



Mars Moon Phobos

## 要求性能

- レーザー波長: 532 nm
- 波長帯: 532 - 680 nm
- ラマンシフト: 4000 rel.  $\text{cm}^{-1}$
- 波数分解能: 10  $\text{cm}^{-1}$
- 鉱物同定が可能
  - Hydrated phyllosilicate (e.g. serpentine)
  - Anhydrous silicate (e.g. olivine)
  - Pyroxene (e.g. diopside, enstatite)
  - Iron sulfide (e.g. pyrite)
  - Amorphous carbon



## MMX ローバとRAX

- ローバ総質量: ~ 29 kg
- RAX質量: ~ 1.4 kg
- 迷光抑制のため夜間に測定を実施
- ローバ本体の昇降と自動焦点調整機構により焦点を地表に合わせレーザー照射

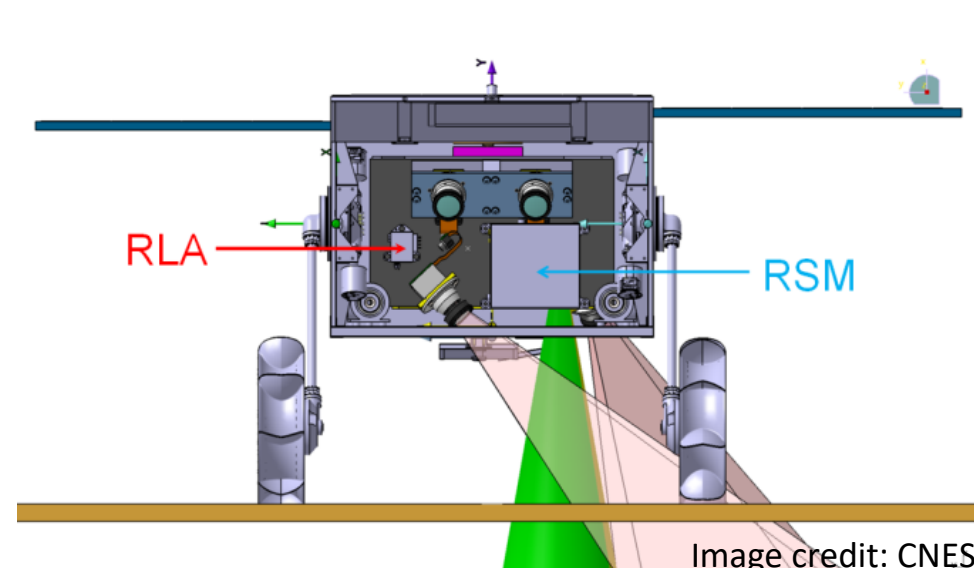
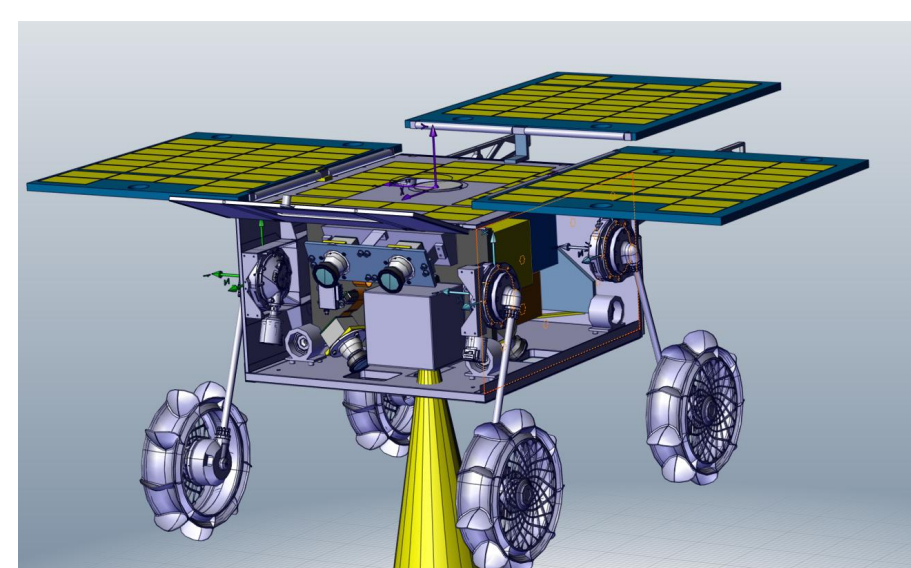
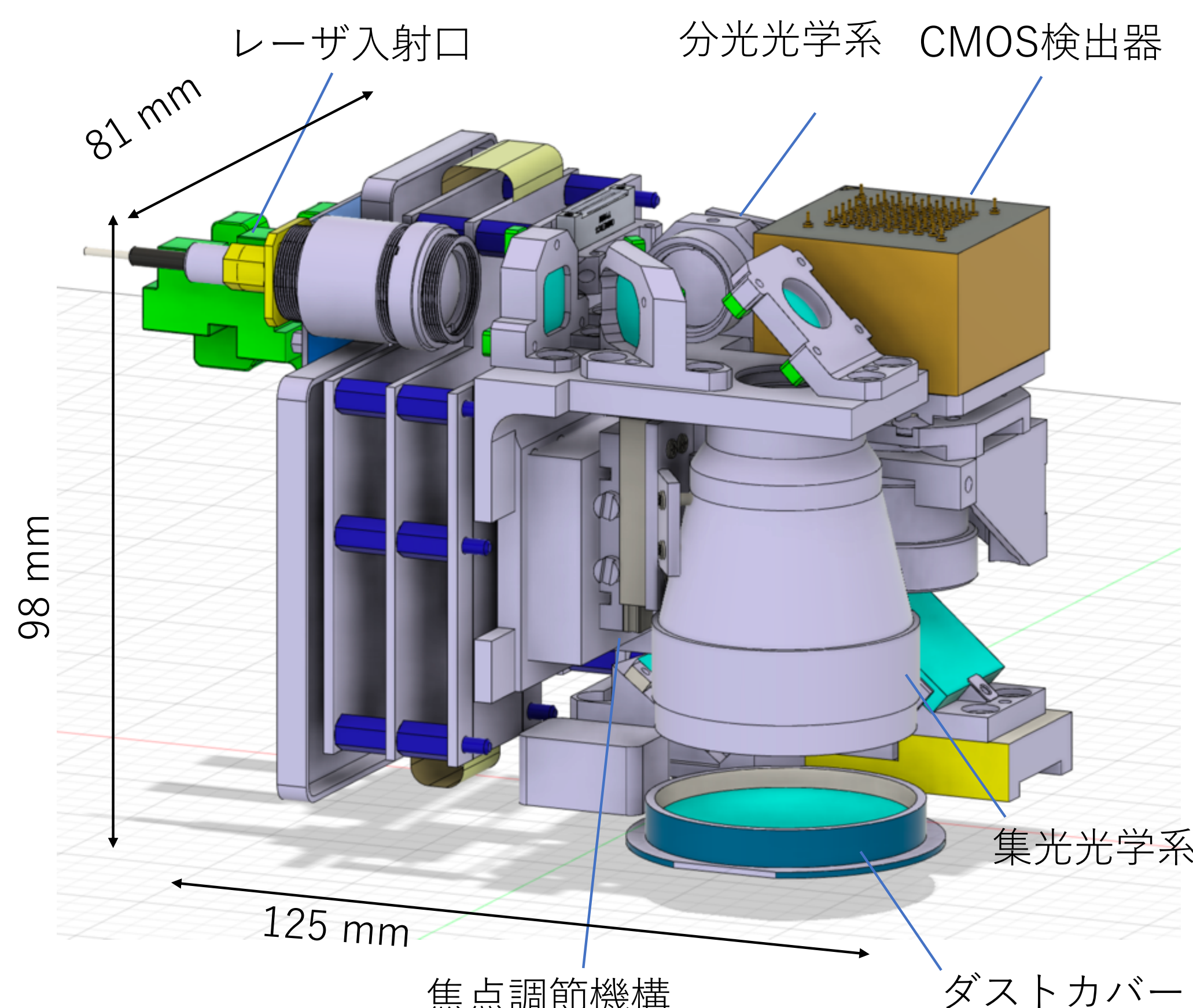


Image credit: CNES

## RAX分光器モジュール



フォボス表面(ダストカバーから80 mm)にレーザーを集光(50  $\mu\text{m}$ )し、ラマン散乱光を分光光学系へ転送する機能を持つ

## 開発分担

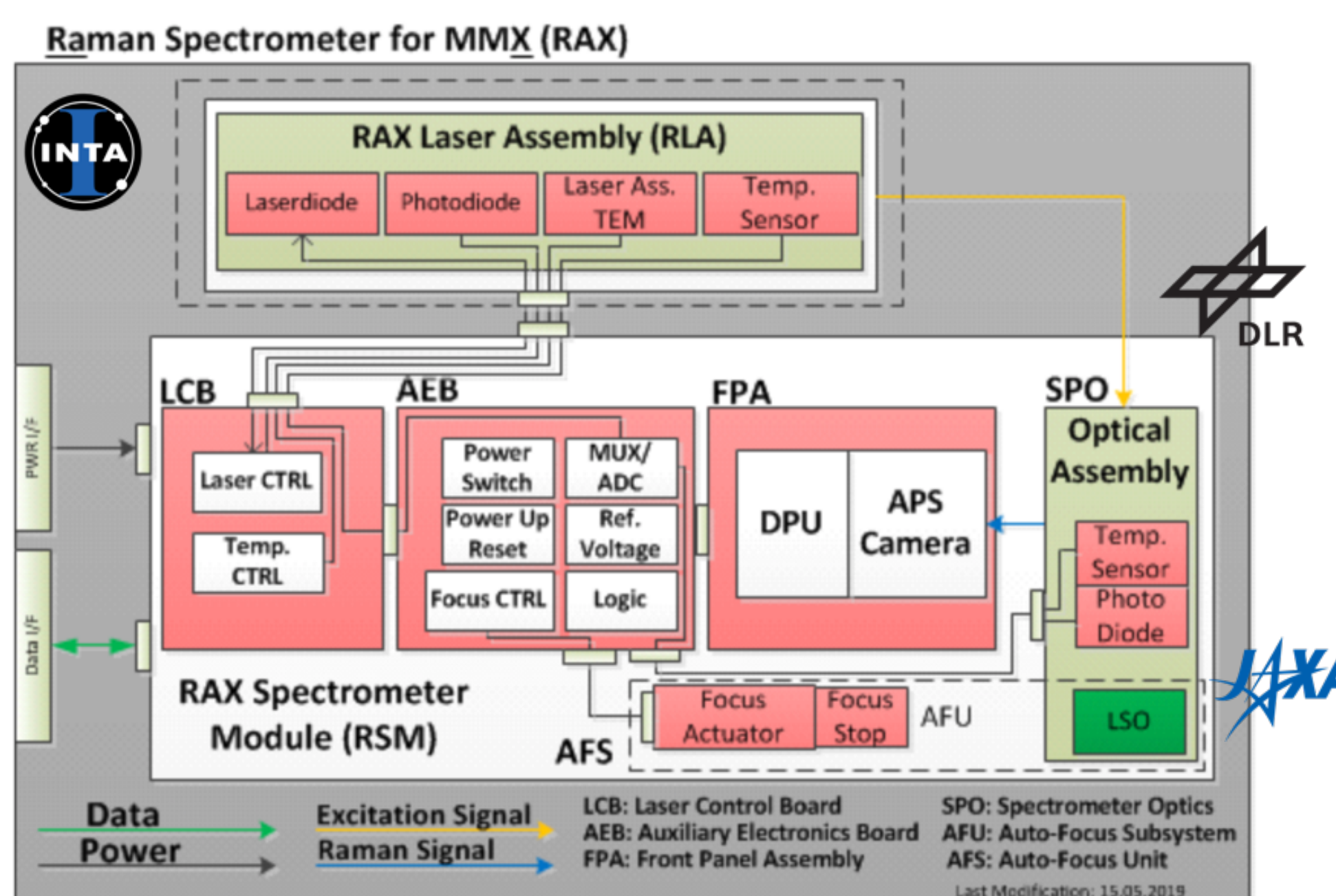
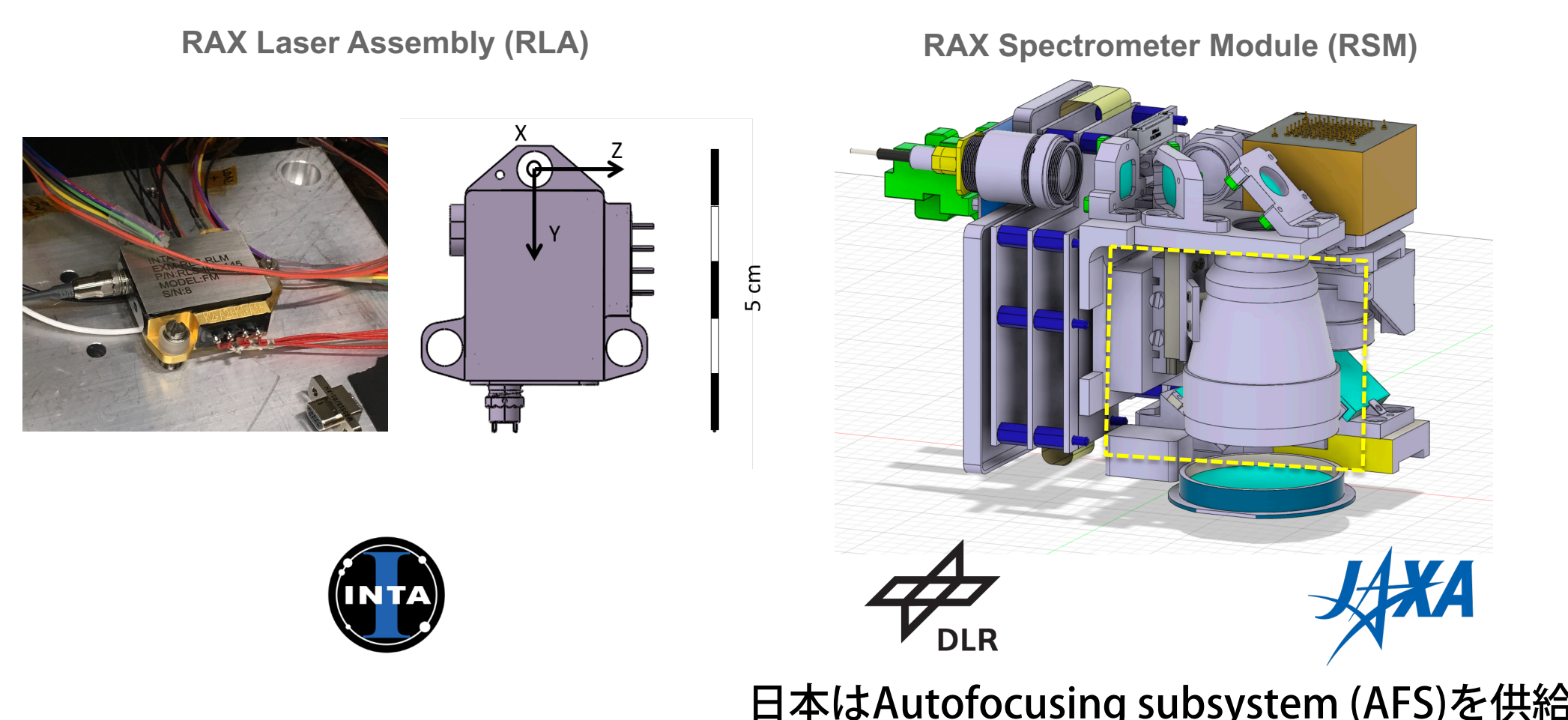
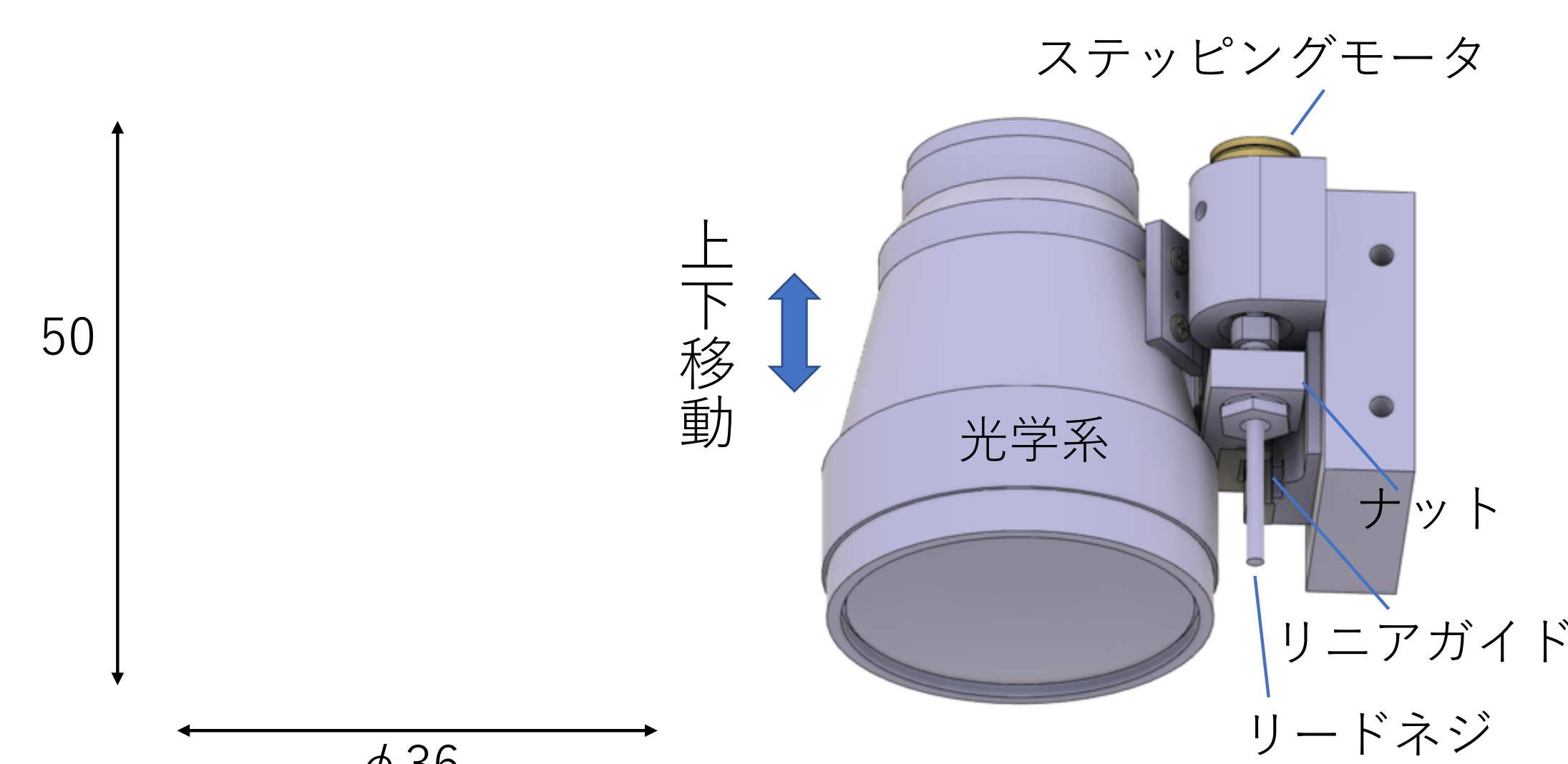


Figure 1: RAX architecture block diagram. The dashed lines indicate parts of the instrument, which are provided by project partners at INTA/UVa and JAXA/Univ. Tokyo, respectively.

## 焦点自動調節機能付き光学系の設計と仕様



Description	Requirement	Unit
Actuator stroke	> 15	mm
Stroke time	< 10	s
Stroke resolution	≤ 25	$\mu\text{m}$
Actuator mass (Target)	< 100	g
Payload	100	g
Lifespan	> 10k	return strokes
Static Loading	≤ 50g	$\text{m/s}^2$
Shock Loading	1000g	$\text{m/s}^2$
Tip/Tilt tolerance	< 12	arcseconds
Axial offset tolerance	< 200	$\mu\text{m}$
Electrical Power Consumption	≤ 1	W
Desired Op. Voltage	5	V
Necessary Op. Voltage	< 11	V
Operating Pressure	< 10 <sup>-5</sup>	Pa
Environmental Radiation	17	kRad

## 開発の現状

- メーカを交えた基本設計が進行中
  - 極めて限られた体積への部品配置
  - アクチュエータの選定
    - トルクマージン、衝撃耐性が鍵
  - 光学素子の保持方法
  - 光学系の環境耐性
  - プリント基板の配置とケーブル経路、固縛方法
- BBMを用いた性能確認試験を実施中
  - RAX光学系の性能確認
  - RLS用レーザー・CMOS検出器のテスト
  - 自動焦点調整機構の動作確認
  - フォボス模擬試料のEnd-to-End性能測定 (e.g. SNR, 波長分解能)



Optical Breadboard Model 2 (BBM2) at DLR-OS

## RAX/AFS開発スケジュール

- 2019/12 RAX Pre-PDR @ DLRを終了。コメント反映中
- 2020/3 RAX Instrument PDR
- 2020/1-7 AFSのEQM製造・試験
- 2020/8 AFSのEQMをDLRへ納品
- 2020/9-21/2 RAX-EQMの試験 @ DLR
- 2020/8-11 AFS詳細設計
- 2020/11 AFS向けCDR
- 2020/11-21/6 AFSのFM製作・試験
- 2021/6 AFS-FMをDLRに納品
- 2021/6-11 RAX-FMの試験
- 2021/12 RAX-FMをローバ側へ納品

謝辞: 本研究は、大学共同利用機関法人自然科学研究機構アストロバイオロジーセンターおよび公益財団法人 精密測定技術振興財団の支援を受けています。

### 参考文献:

Hagelschuer, T., Belenguer, T., Boettger, U., et al. The Raman spectrometer onboard the MMX rover for Phobos, 70<sup>th</sup> Int. Astronautical Congress, 2019.  
Schroeder, S., Belenguer, T., Boettger, U., Buder, M., Cho, Y. et al., In-situ Raman spectroscopy on Phobos: RAX on the MMX rover. 51<sup>st</sup> Lunar Planet. Sci. Conf., 2020