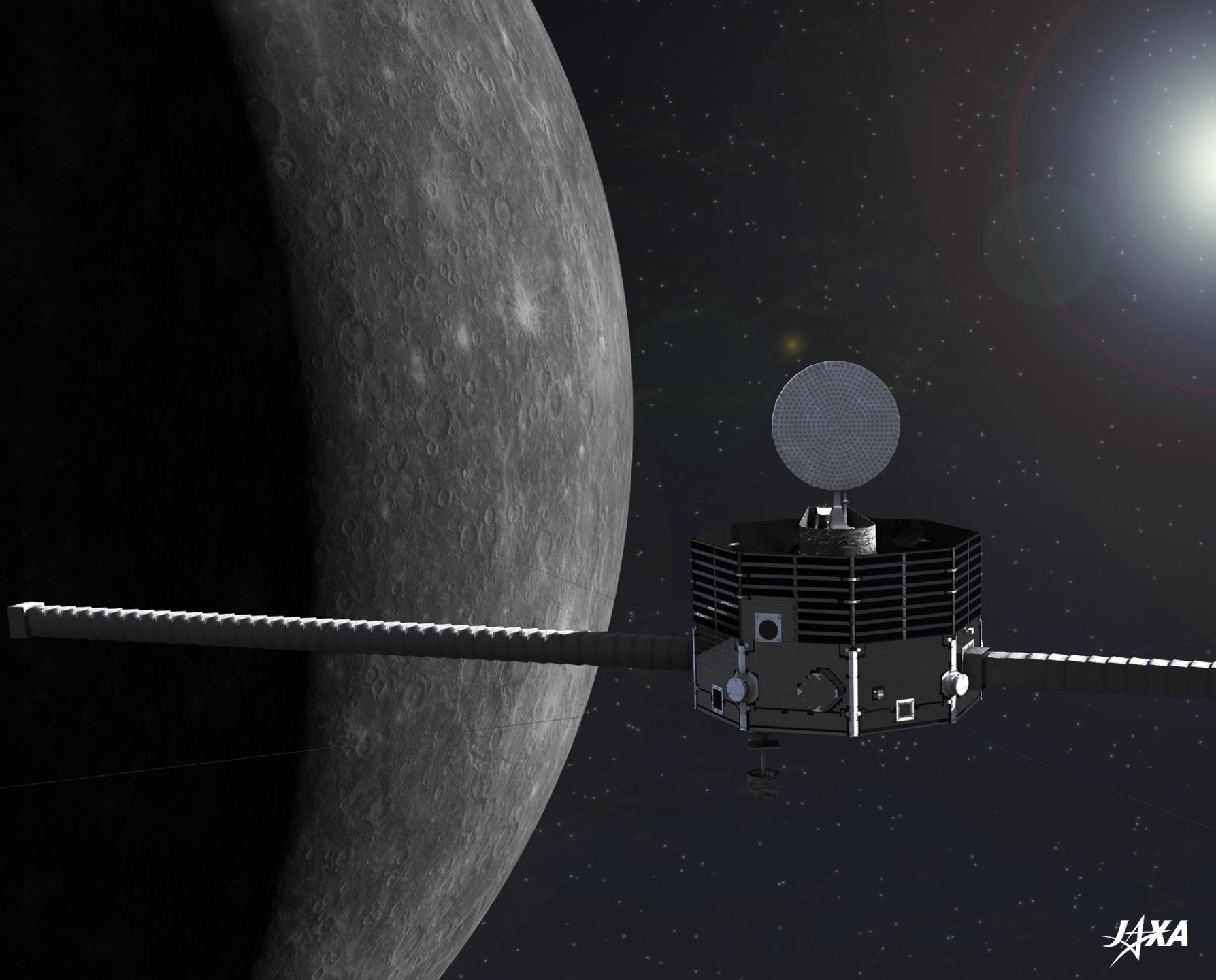
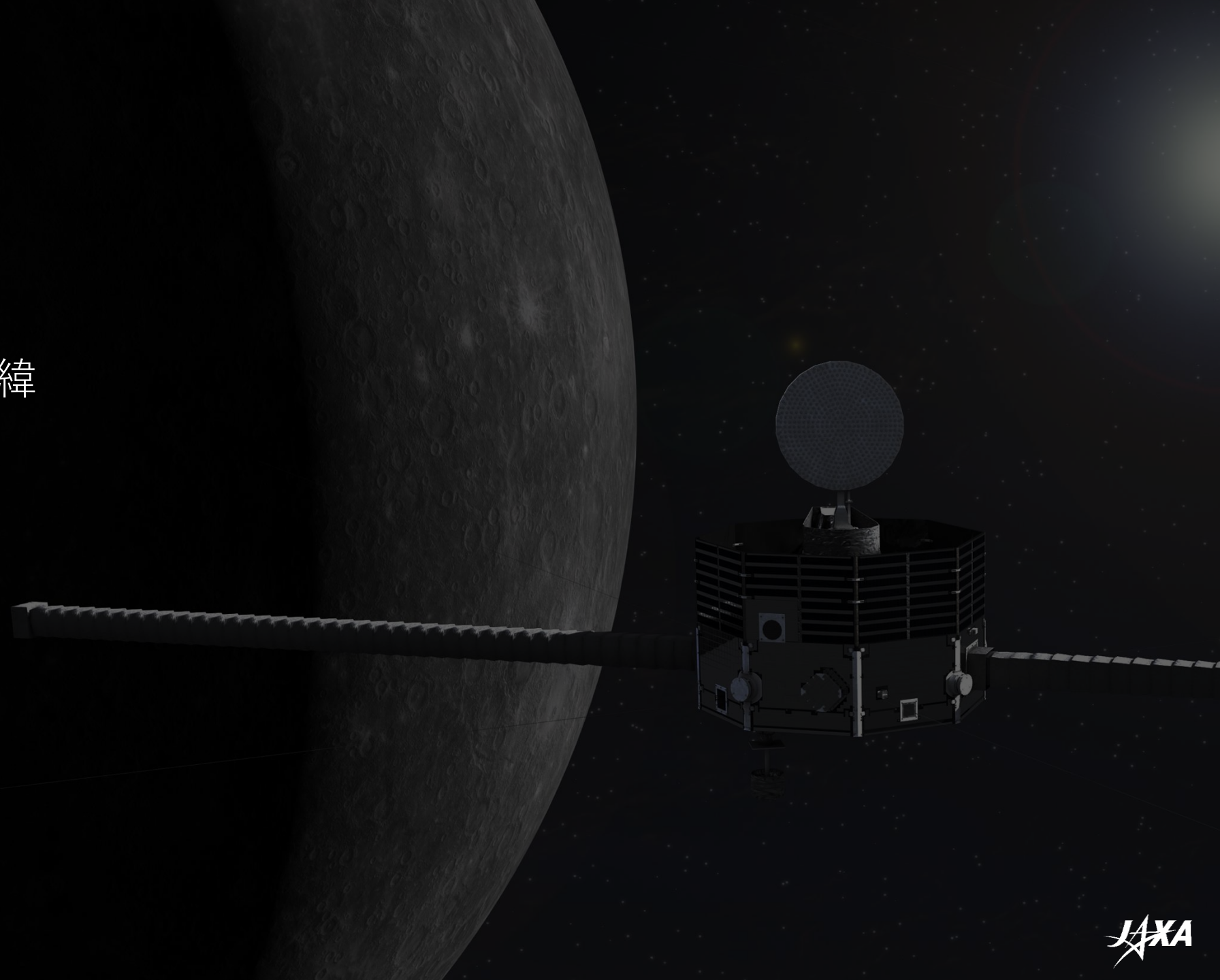


BepiColombo Project
MMO FACT SHEET

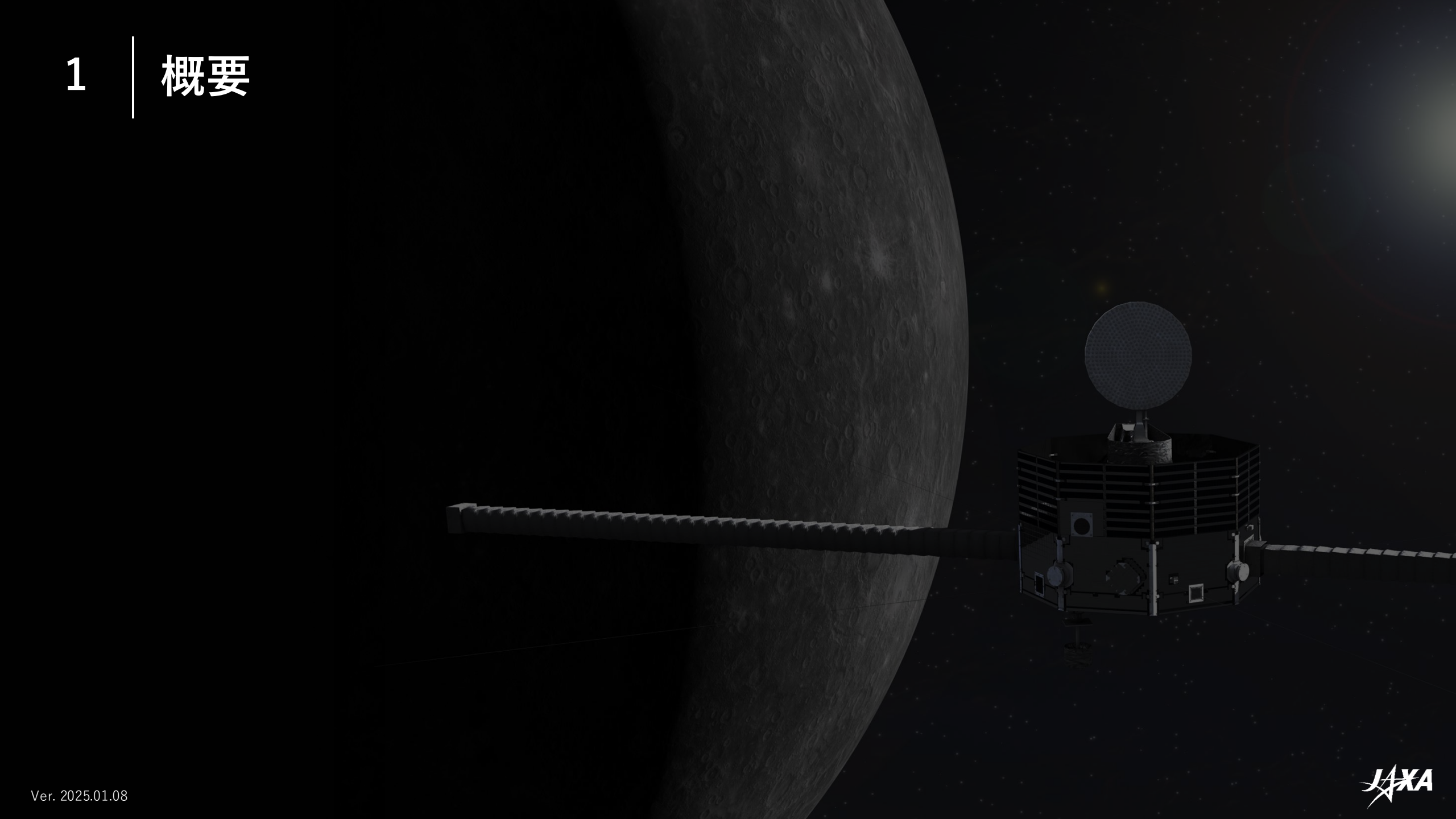
Ver. 2025.01.08

0 目次

1. 概要
2. 水星探査
3. プロジェクトの経緯
4. 探査機（MMO）
5. 運用
6. マネージメント
7. トピック
8. 参考情報



1 概要



1.1 ミッション目的

ミッション目的

- BepiColombo（ベピコロンボ）プロジェクトは，水星の磁場・磁気圏・内部・表層を観測し，太陽系内縁部における初期惑星形成に係わる水星の起源と進化の解明を目指すと共に，惑星の磁場・磁気圏の普遍性や特異性の解明を目指すことを目的としています。
- その中でJAXA（ジャクサ）が担当するMMOでは，水星固有磁場の成因，特異な磁気圏の解明，希薄大気の生成・消滅過程，太陽風との相互作用の観測を目的としています。

期待される成果と効果

- 地球を除き唯一の惑星固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星の初の総合的な精密観測により，太陽系惑星形成，惑星磁場形成要因及び太陽風と磁気圏の相互作用等についての知見獲得が図れ太陽系科学分野に大幅な飛躍をもたらし得ます。
- 太陽活動により変動する太陽圏・惑星圏環境の理解を進め，惑星大気プラズマのダイナミクスと進化の解明に資するものとなります。

1.2 ミッション目標

BepiColombo/MMOのサクセスクライテリア（2010年制定）

	ミニマムサクセス	フルサクセス	エクストラサクセス
磁場	磁場計測器により88日（水星の公転周期） 以上の観測を実施し，固有磁場の有無を確定	1地球年のうちに１nT以下または2%以下の計測精度，200 kmスケールでの全球（80%以上）観測を実施し，磁場起源の推定に資するデータの取得	内部起源・外部起源の磁場の分離 内部構造の推定（MPOとの共同観測）
磁気圏	粒子計測器，又は波動計測器により88日以上の観測を実施し，磁気圏構造の概要を確定	1地球年のうちに密度温度構造を水星半径の数分の１程度の分解能で求め，太陽風条件による相違を理解する また，10秒以下の速い時間変動を観測し，ダイナミクスを把握する	磁気圏現象の普遍性と水星磁気圏の特異性の理解
希薄大気	-	1地球年のうちに水星軌道の4分割以上の領域において，数分程度の間隔で数時間以上継続的に大気分布の時間変動を観測し，希薄大気構造に対する太陽光，太陽風の影響を明らかにする	ダスト分布や，MPOとの共同観測による希薄大気の生成・消滅過程の理解
衝撃波	-	-	地球軌道では観測出来ない高（～40）・低マッハ数（＜1）衝撃波の詳細観測

1.3 ESAとの国際協力

- BepiColomboは日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）とヨーロッパ宇宙機関（ESA）が協力して進める国際水星探査計画です。
- JAXAが水星磁気圏探査機「みお」の開発を担当し，ESAは水星表面探査機（MPO）のほか推進モジュール（MTM）やMMOサンシールド（MOSIF）の開発を担当します。
- しかし「みお」やMPOの各観測機器の開発チームも多くがそれぞれ国際協力の形で編成されており，国際色豊かなメンバーで進められています。

表 JAXAとESAの分担

機関	担当
JAXA	MMO（みお）の開発，運用（JAXAのアンテナ局を使用）
ESA	MPOの開発，運用（ESAのアンテナ局を使用） MTMの開発 MOSIFの開発 ロケット（ARIAN 5 ）の打上げ 水星到着までのMMO+MPO+MTMの運用（ESAのアンテナ局を使用）

1.3 ESAとの国際協力

表 国際協力プロジェクトまでの道のり

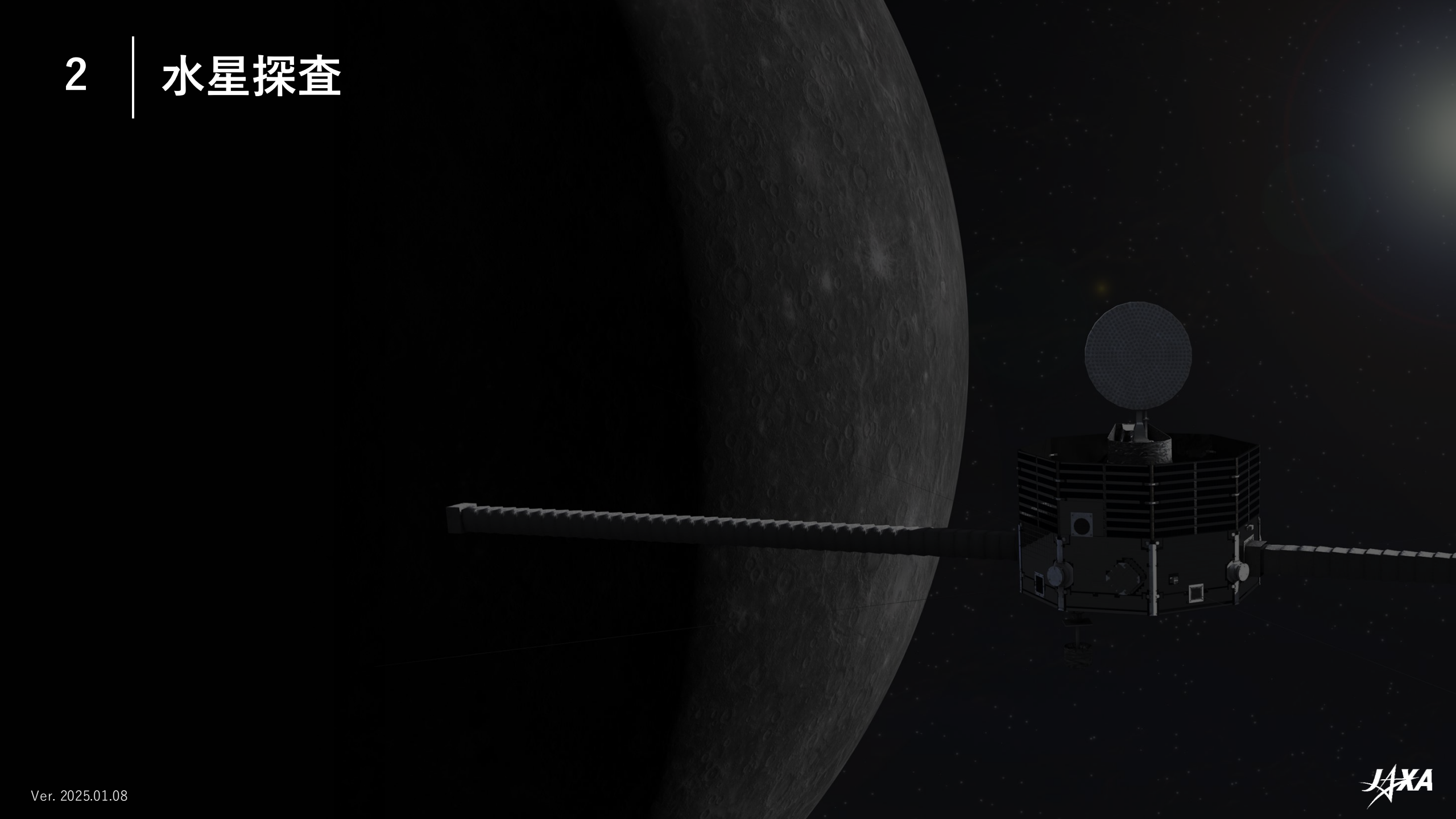
年月	出来事
1997.06	日本側で水星探査ワーキンググループ結成
1999.11	ESAから水星探査の共同検討の提案
2000.09	ISAS（旧文部省宇宙科学研究所）が国際共同水星探査への参加表明
2000.10	ESAにおいてBepiColomboがコーナーストーンミッションとして採択される
2003.07	ISASにおいて承認される
2003.10	NASDA・ISAS・NALの3機関が統合されJAXAに
	以降，JAXA-ESA共同水星探査計画として開発が進められた

1.4 全体スケジュール

- FY2003
  - ▶ 基礎開発研究
- FY2004～2009
  - ▶ 衛星試作
- FY2009～2014
  - ▶ 衛星製作
- FY2014～2015
  - ▶ 総合試験
- FY2015～2017
  - ▶ 母船総合試験
- 2018.10.20
  - ▶ 打上げ
  - ▶ Arian5, クールー
- 2020.04.10
  - ▶ 地球スイングバイ
- 2020.10.15
  - ▶ 金星スイングバイ#1
- 2021.08.10
  - ▶ 金星スイングバイ#2
- 2021.10.01
  - ▶ 水星スイングバイ#1
- 2022.06.23
  - ▶ 水星スイングバイ#2
- 2023.06.19
  - ▶ 水星スイングバイ#3
- 2024.09.04
  - ▶ 水星スイングバイ#4
- 2024.12.01
  - ▶ 水星スイングバイ#5
  - ▶ 予定
- 2025.01.09
  - ▶ 水星スイングバイ#6
  - ▶ 予定
- 2026.11
  - ▶ 水星周回軌道に到着
  - ▶ 予定

※ 日付は世界標準時

2 水星探査



Ver. 2025.01.08

2.1 水星探査の難しさ

- 水星は実は探査が困難な惑星です。
  - ▶ たどりつくために多くのエネルギーが必要な惑星だからです。
  - ▶ そのため，これまで水星へ行ったことがある探査機はマリナー10号とメッセンジャーの２機のみで，水星周回軌道に投入されたのはメッセンジャーだけとなります。
  - ▶ BepiColomboの水星への道のりも険しく，水星へたどり着くのに必要な膨大なエネルギーを賄うために合計９回もの惑星スイングバイを行います。
  - ▶ これは惑星探査機としては史上最多です。
- 惑星スイングバイとは，惑星の重力によって探査機の進む方向を変えたり加速・減速したりする航法です。
  - ▶ スイングバイを利用すると，燃料を使わずに探査機を運航できるので，今では多くの惑星探査機がスイングバイを利用して目的の惑星へ向かいます。
- 参考
  - ▶ Why does it take so long to get to Mercury?（ESA）
  - ▶ BepiColombo’s journey to Mercury（ESA）

2.2 水星の環境

- 見た目は月にそっくり
  水星の見た目は月とよく似ており、クレーターに覆われた地形を持っています。しかし、月では見られない水星特有の地形も多く発見されており、それらがどうやって作られたのかまだ謎が多く残されています。地球のような分厚い大気に守られていないので、表面は隕石によるクレーターだらけ。水星のクレーターのほとんどは芸術家の名前がつけられています（ベートーヴェン、バッハ、ブラームス、ピカソ、ゴッホ、葛飾北斎、紫式部、夏目漱石、松尾芭蕉、世阿弥など）

- 昼と夜の温度差が600°C
  水星は太陽系の惑星の中で一番内側を公転しており、地球の10倍以上強い日光を浴びており、昼の表面温度は約430°Cにも達します。一方、地球のような分厚い大気をもっていないため夜側では熱が宇宙空間に逃げてしまい、約－170°Cまで冷えてしまいます。昼と夜の温度差が約600°Cもある過酷な環境の惑星です。

- 小さくてもズッシリ重い
  地球と同じく岩石でできた惑星で、その大きさは太陽系で最も小さく地球の半分以下（半径2,440km）しかありません。しかし地球とほぼ同じ密度をもっており、内部には惑星半径の3/4にも及ぶ大きな鉄のコアがあると考えられています。

- 地球と同じく磁場がある
  地球と同じように水星にも磁場があり、その強さは地球の約1/100です。惑星で磁場が作られるには内部のコアが溶けて流動している必要があると考えられており、最も小さく冷え固まりやすい惑星である水星になぜ未だに磁場が存在しているのかは大きな謎となっています。さらに、磁気赤道が水星半径の５分の１も北側にシフトしていることがわかっており、そのメカニズムはわかっていません。

- 参考： https://mio.isas.jaxa.jp/mercury/

2.3 水星の謎

① 誕生の謎：どうやって生まれた？

- 地球と同じく岩石でできた惑星で、その大きさは太陽系で最も小さく地球の半分以下（半径2,440km）しかありません。しかし地球とほぼ同じ密度をもっており、内部には惑星半径の3/4にも及ぶ大きな鉄のコアがあると考えられています。
- 小さいのに重すぎる：サイズは小さいのにズバ抜けて密度が高い

② 進化の謎：どうやって育った？

- 現在、地球型惑星で大規模な磁場をもっているのは、**地球と水星だけ**
- **磁場をもつには、**内部に溶けて対流する金属核が必要
  水星は小さいため冷めやすく、内部はとっくに冷え固まっていて磁場はないというのが定説だったが、マリナー10号が磁場を発見した。なぜ磁場が存在するのか未だに分かっていない。
- さらに、磁場の中心が水星半径の1/5も北にずれていることを、メッセンジャー探査機が発見した。どんな内部構造ならばこの非対称を生み出せるのか謎。
  メッセンジャー探査機では南半球の詳細観測が不可能だったため、ベピコロンボに期待！

③ 環境の謎：いま、何が起きている？

- 水星は太陽に最も近く、水星磁場は地球よりも弱いため、強烈な太陽風にさらされている。惑星にどんな影響があるのか謎。
- 水星にも非常に希薄ではあるが大気が存在することが確認された（地表面からナトリウムなどのガスが宇宙空間へ飛び出している）。どのようにして大気が生成されているのか未解明。

2.4 過去の水星探査ミッションと成果

- **これまでの水星探査はわずか…**
- **マリナー10号**
  - 世界初の水星探査機（1974-1975年）
  - 3回水星へ接近（スイングバイ観測）
  - 世界で初めての水星表面撮像
  - 磁場の存在を発見
- **メッセンジャー**
  - 世界初の水星周回探査機
  - 2004年8月打ち上げ
  - 2011年3月水星周回軌道投入に成功
  - 2015年4月水星へ制御落下
    →4年もの定常的な観測を成し遂げ、多くの発見と新たな謎をもたらした

8.4 「BepiColombo」

- BepiColombo（ベピコロンボ）は，ESA/JAXA共同のミッション名であり，JAXAのプロジェクトチーム名です。
- BepiColomboという名前はイタリアの天体力学者であるGiuseppe Colombo氏に由来しています。
- 水星の自転周期と公転周期が2:3の共鳴関係にあることを提唱したり，スイングバイを惑星探査機の航行に利用した先駆者でもあります。
- その功績をたたえ，彼のニックネームであるBepiをつけて我ーの水星探査計画をBepiColomboと名付けたのです。

8.5 愛称「みお」

- 「みお」は探査機MMOの愛称です。開発中はMMOと呼んでいましたが，新たに愛称をつけました。
- 「みお」は河川や海で船が航行する水路や航跡の意味をもちます。
- これまでの探査機の研究開発の道のりを示すとともに，これからの航海安全への祈りが込められています。
- また，古くより船が航行するときの目印にする標識を澪標（みおつくし）と云い，和歌では「身を尽くし」の掛詞になることから，努力と挑戦を続けるプロジェクトメンバーの思いを表しています。
- この愛称は2018年に公募で選ばれました。
  - ▶ 参考
    - 水星磁気圏探査機MMOの愛称決定について（JAXA）

Copyright : JAXA