

人工衛星・探査機の元気の源 -宇宙の電源技術-

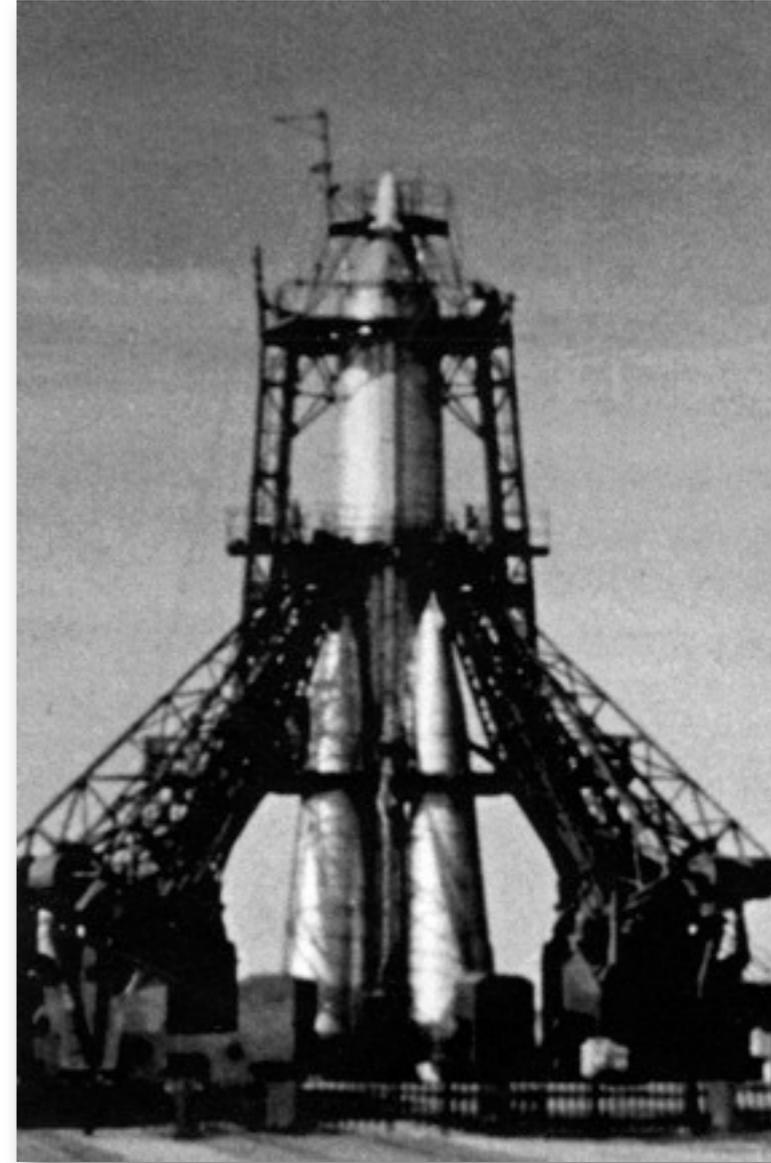
豊田裕之 (JAXA 宇宙科学研究所)

電源から見た人工衛星の歴史

人類初の人工衛星：Sputnik 1

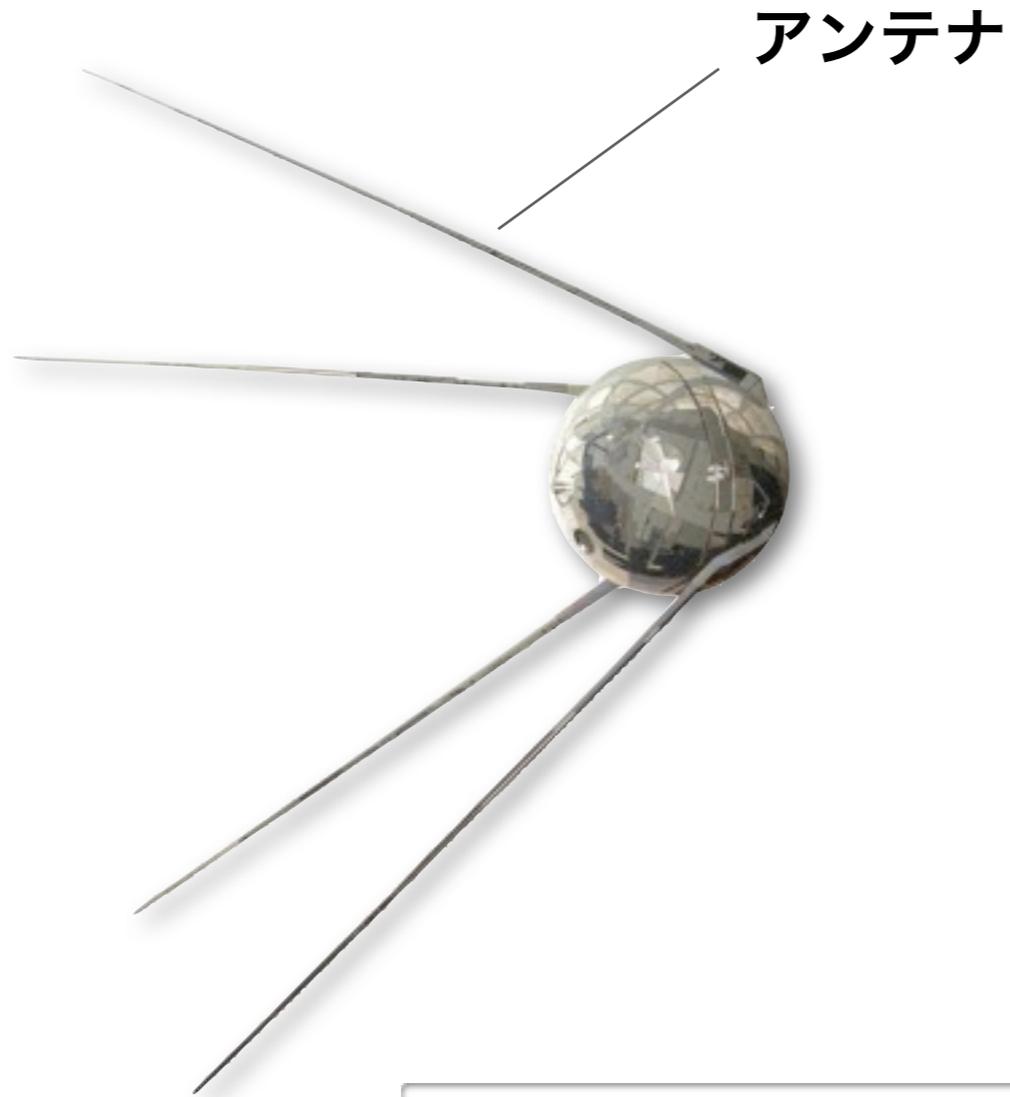


Sputnik 1
(1957年、ソ連)



R-7ロケット
(世界初の大陸間弾道ミサイル)

人類初の人工衛星：Sputnik 1



Al製外殻

Al製内殻

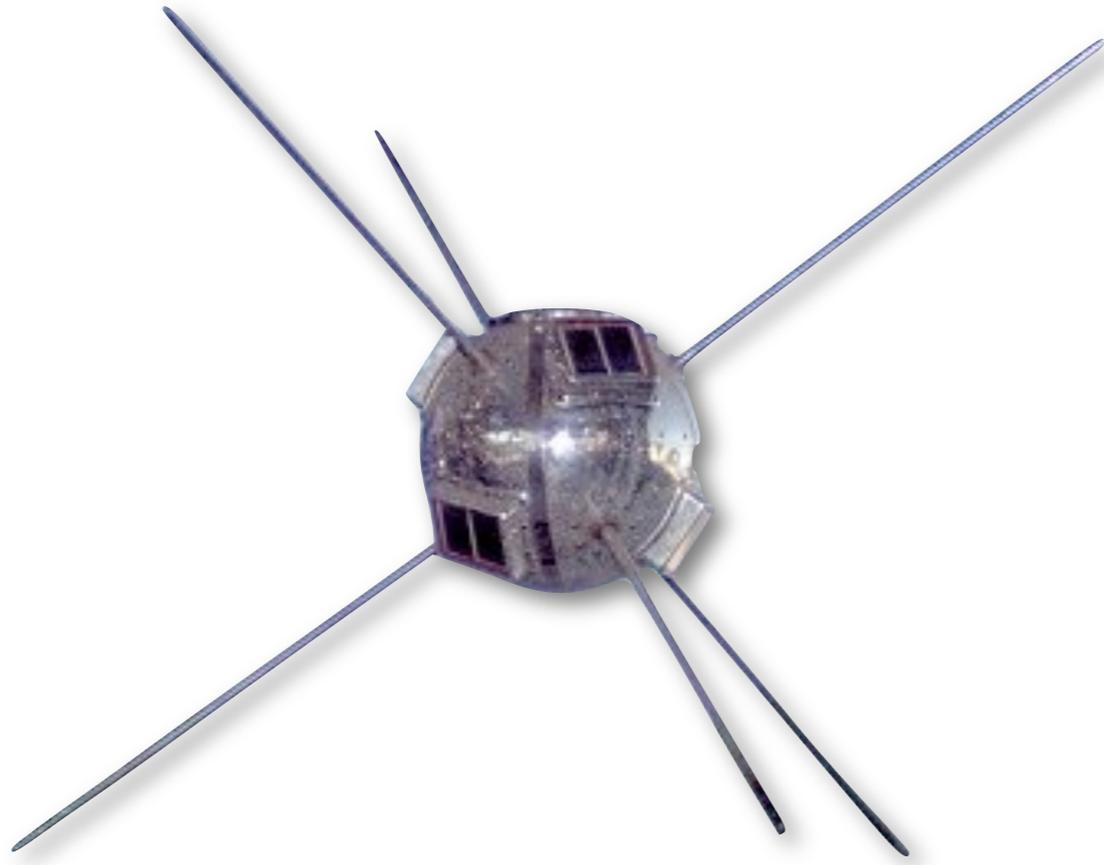
酸化銀電池、
送信機

窒素ガス
循環用ファン



- 直径 58 cm
- 質量 83.6 kg
- 電池寿命 3週間（消滅は3ヶ月後）
- 内部の温度データを発信した。

初めて太陽電池を搭載：Vanguard 1

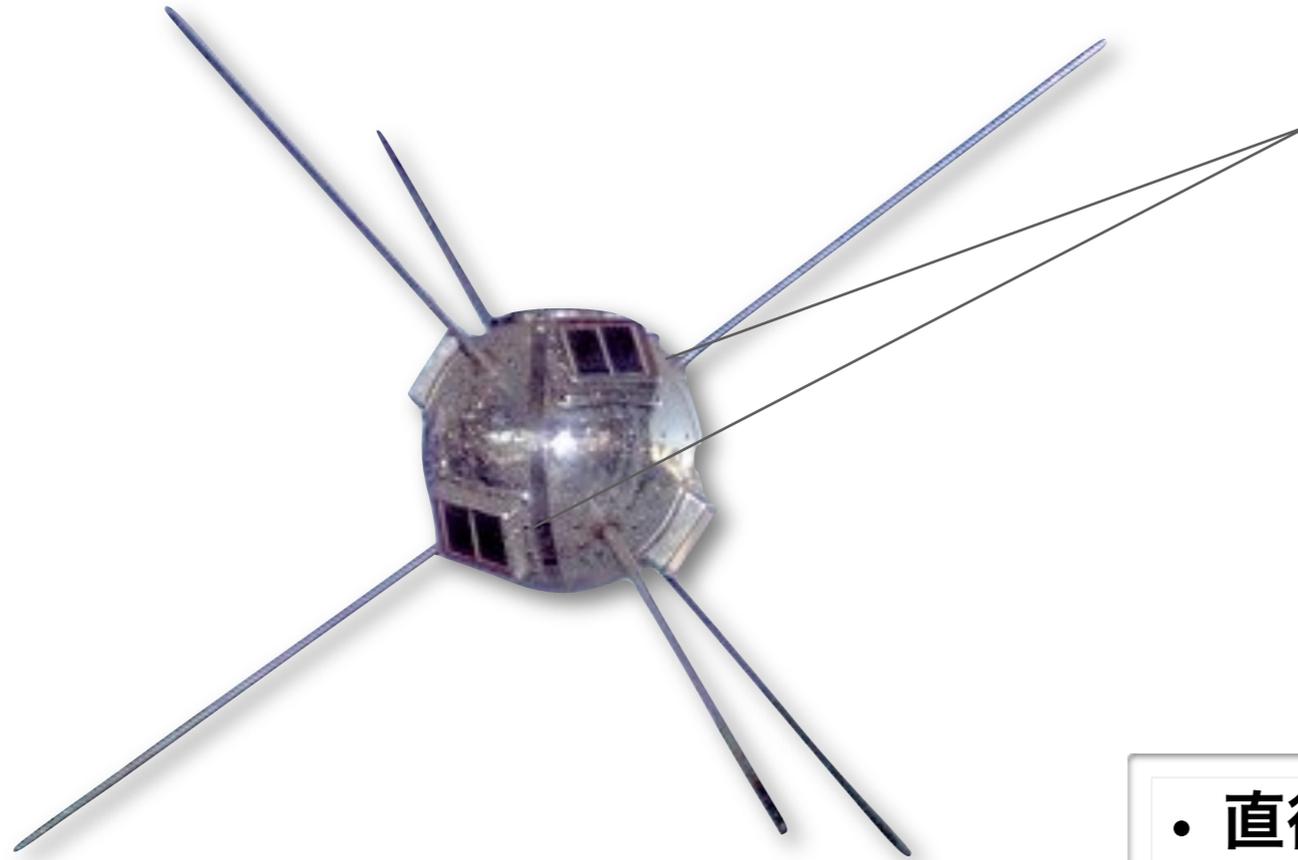


Vanguard 1
(1958年、アメリカ)



Vanguard

初めて太陽電池を搭載：Vanguard 1



Vanguard 1
(1958年、アメリカ)

Si太陽電池セル

- 34枚で10 mWの発電能力。
- ベル研究所が1954年に開発。
- 世界初の太陽電池実用例。

- 直径 16 cm
- 質量 1.5 kg
- 動作期間 約2200日
- 内部の温度データを発信した。
- 宇宙空間に現存する、最古の人工物。

日本初の人工衛星：おおすみ



1970年、東京大学宇宙航空研究所
(現JAXA宇宙科学研究所) が
鹿児島宇宙空間観測所から打ち上げ。



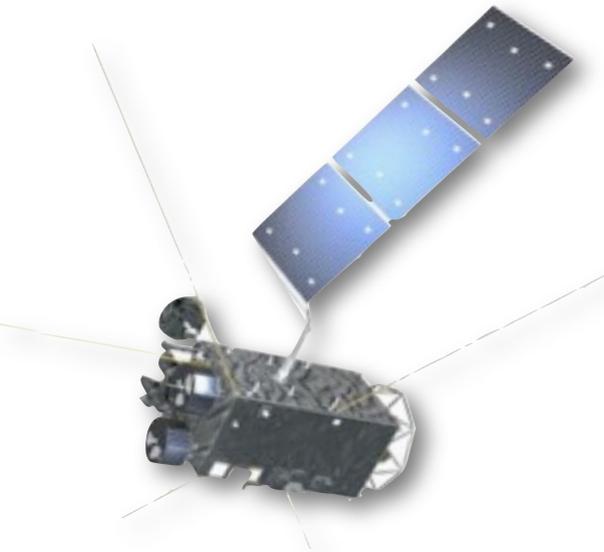
L-4Sロケット

日本初の人工衛星：おおすみ

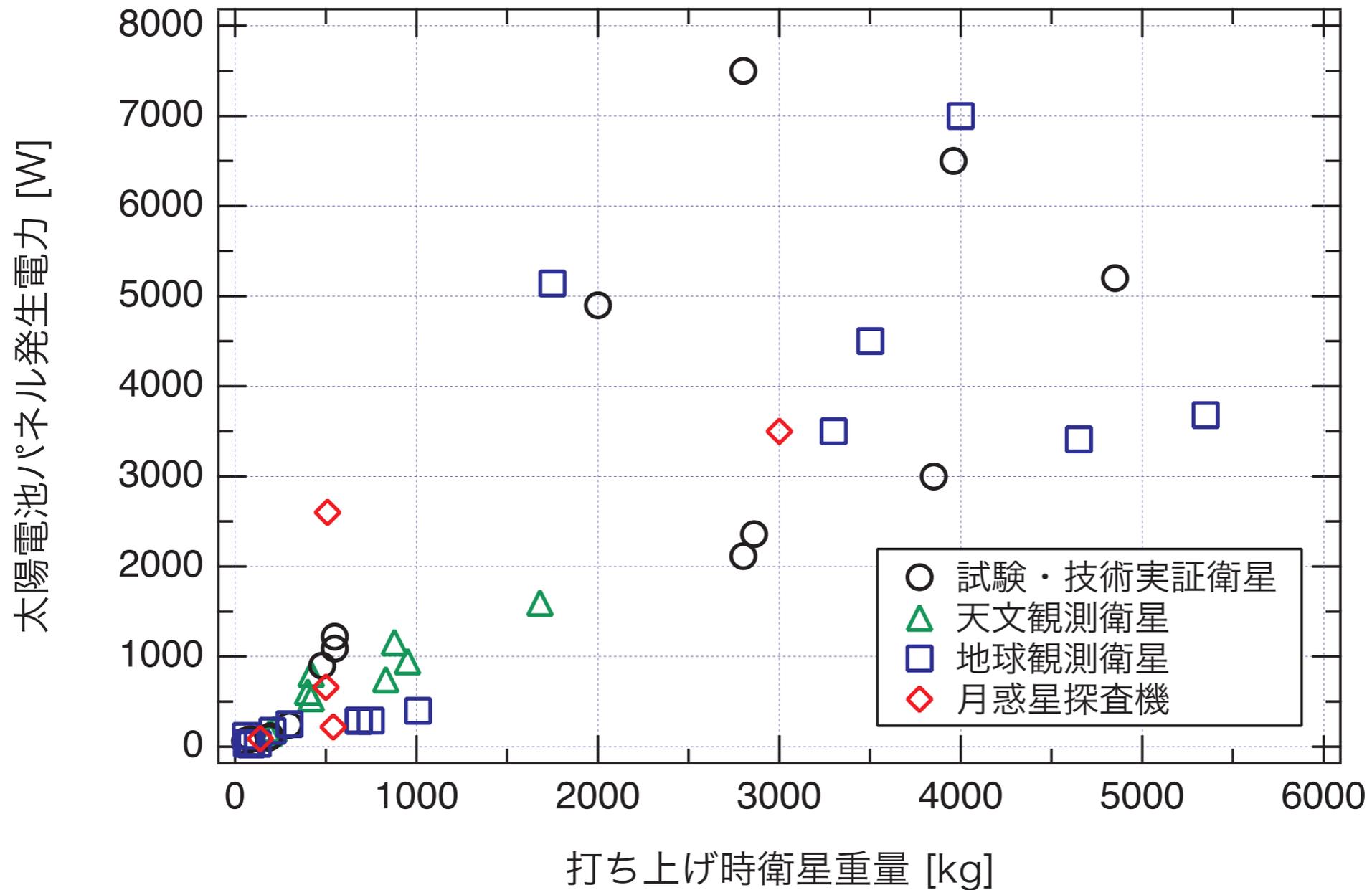


- 直径 48 cm、長さ 100 cm
- 質量 23.8 kg
- 電池設計寿命 約30時間
- 動作時間 約14時間
- 温度計、加速度計、送信機を搭載
- 2003年に大気圏に突入し消滅

衛星技術の変遷

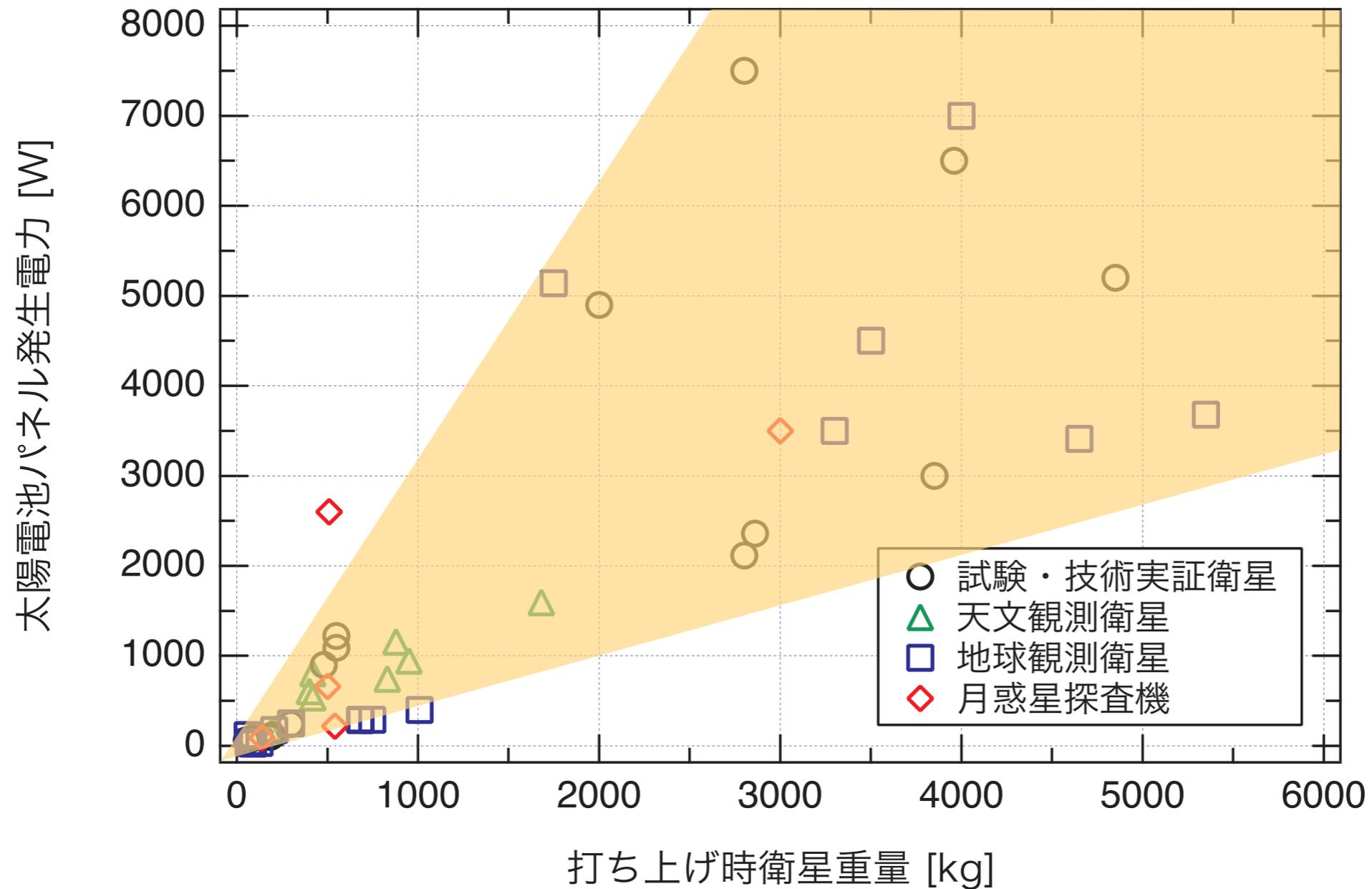
	質量	電源	搭載機器
 <p>1970年 おおすみ</p>	23.8 kg	酸化銀電池 : 5 Ah	加速度計 温度計 送信機
 <p>2007年 かぐや</p>	3 t	太陽電池 : 3.5 kW	蛍光X線分光計 ガンマ線分光計 マルチバンドイメージャ スペクトルプロファイラ 地形カメラ 月レーダサウンダー 月磁場観測装置 レーザー高度計 プラズマ観測装置 粒子線計測器 電波科学 超高層大気プラズマイメージャ VLBI電波源 リレー衛星 ハイビジョンカメラ

衛星の重量と電力容量



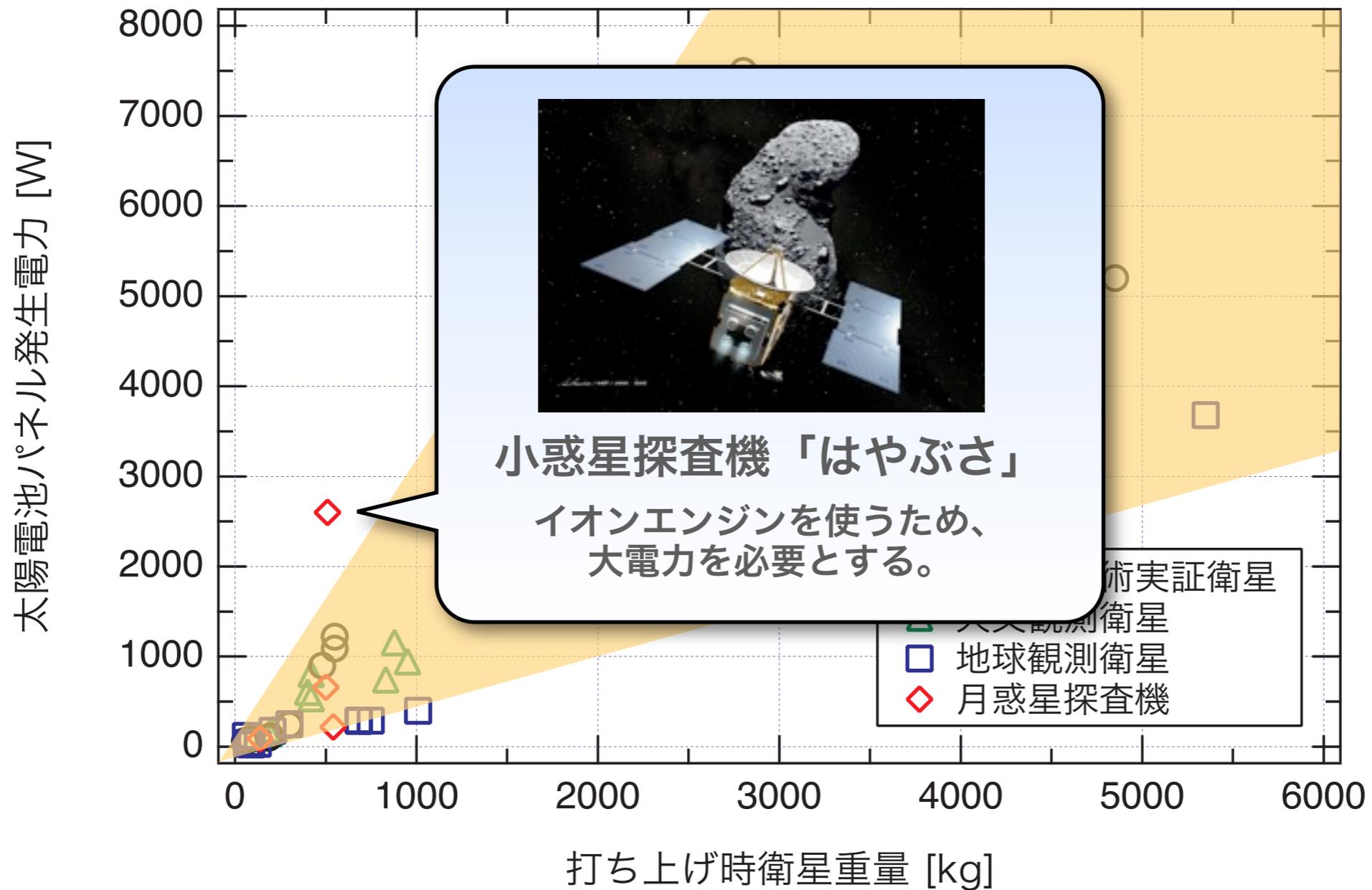
日本の人工衛星の重量と太陽電池パネル発生電力

衛星の重量と電力容量



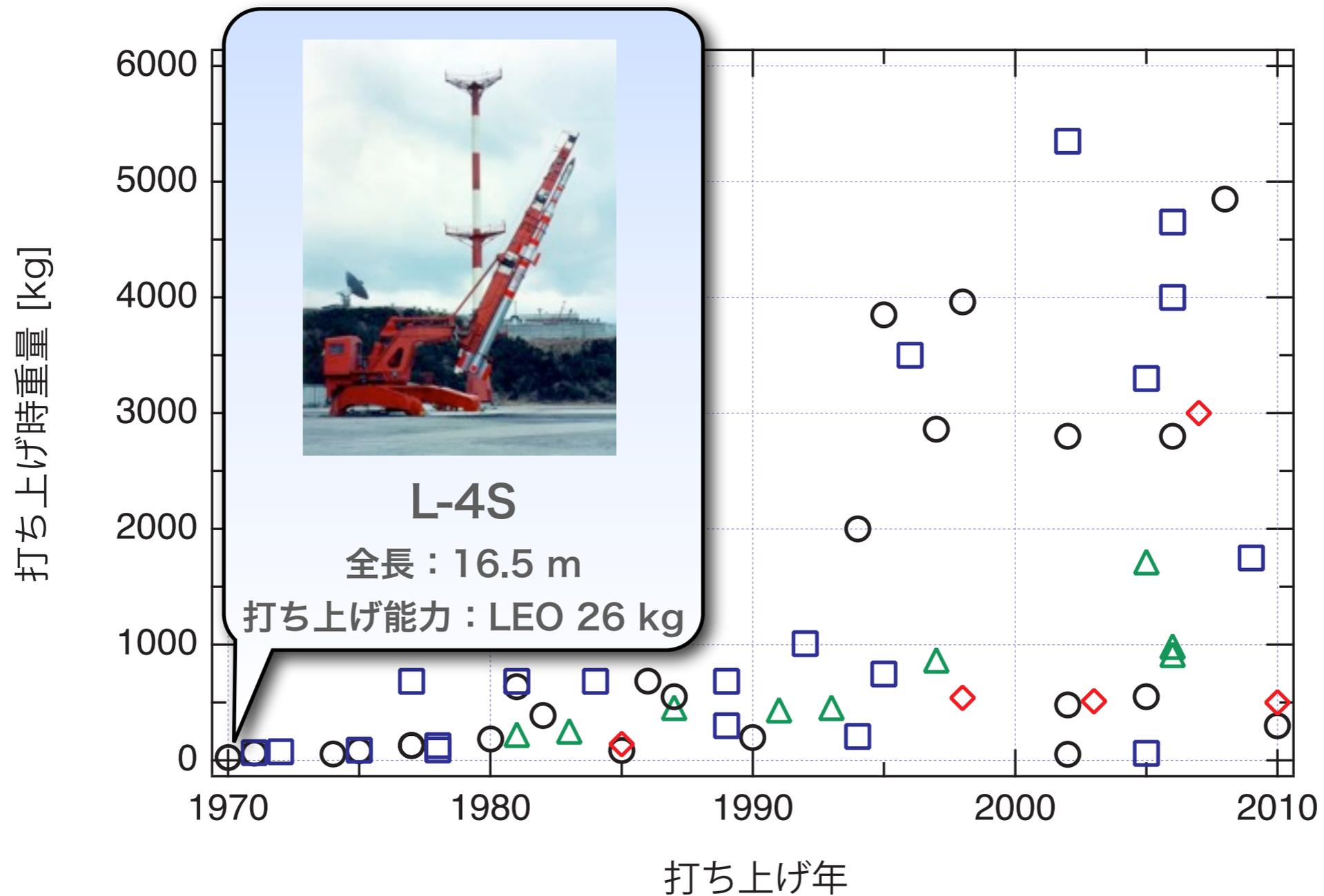
日本の人工衛星の重量と太陽電池パネル発生電力

衛星の重量と電力容量



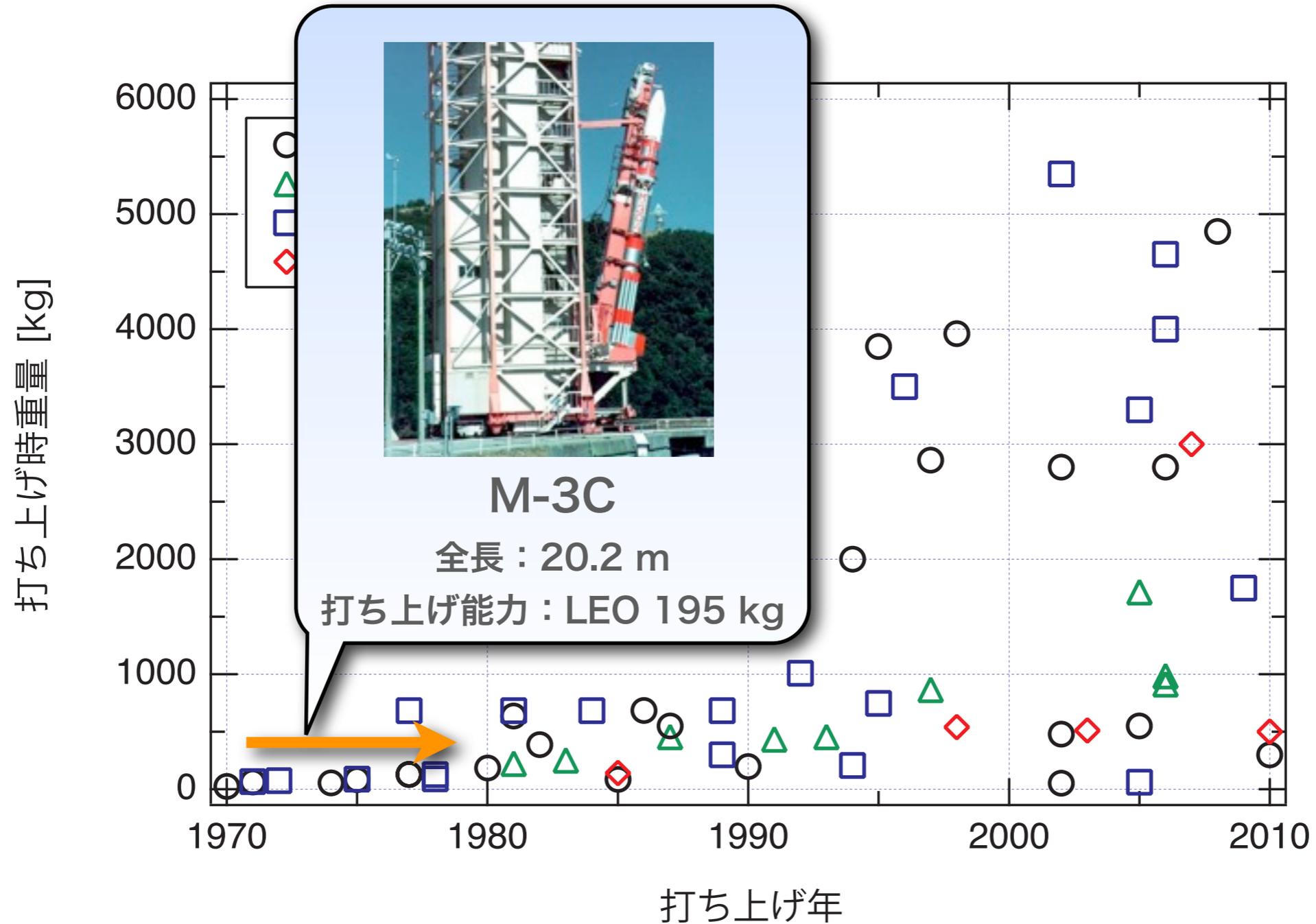
日本の人工衛星の重量と太陽電池パネル発生電力

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力



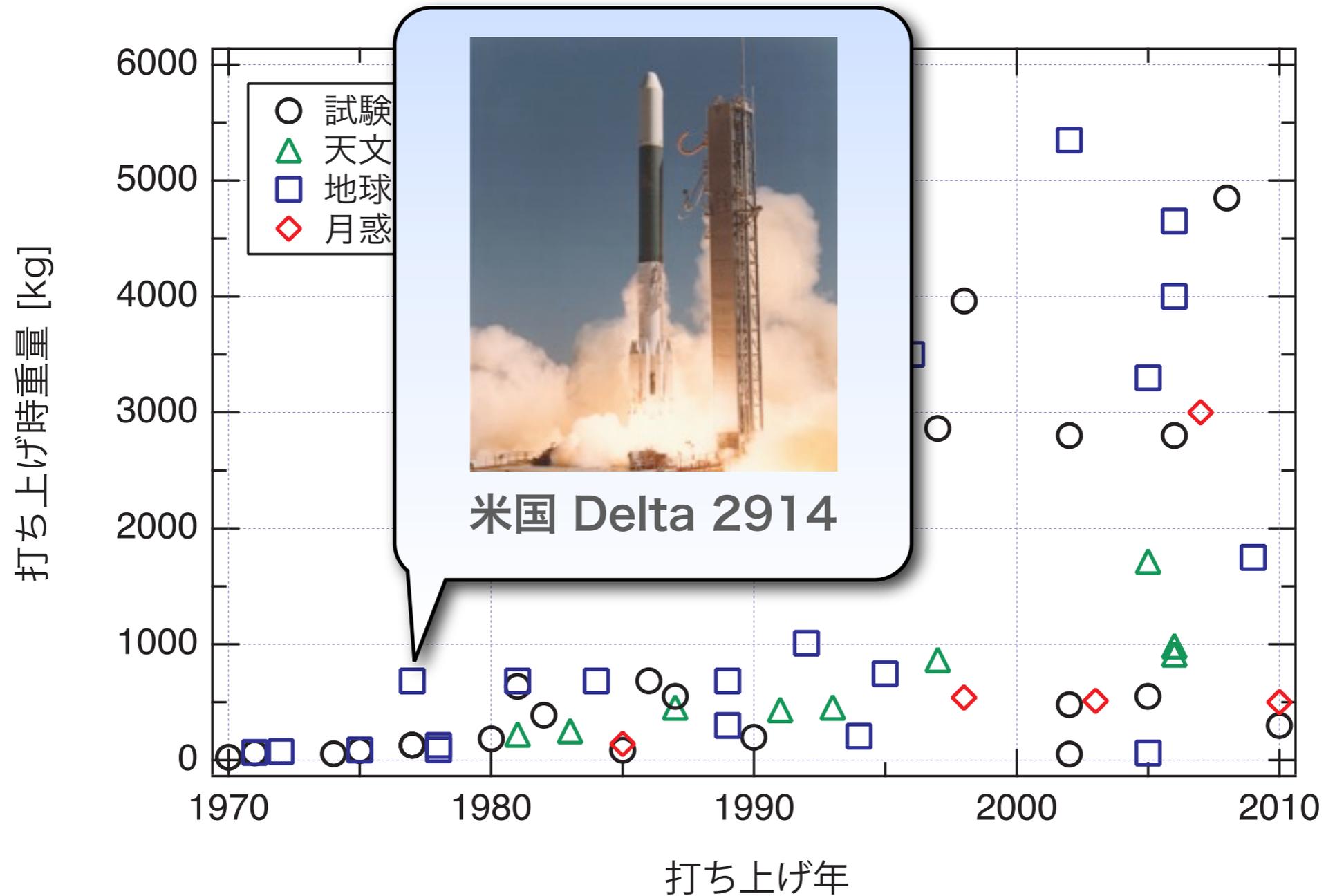
日本の人工衛星の重量の推移

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力



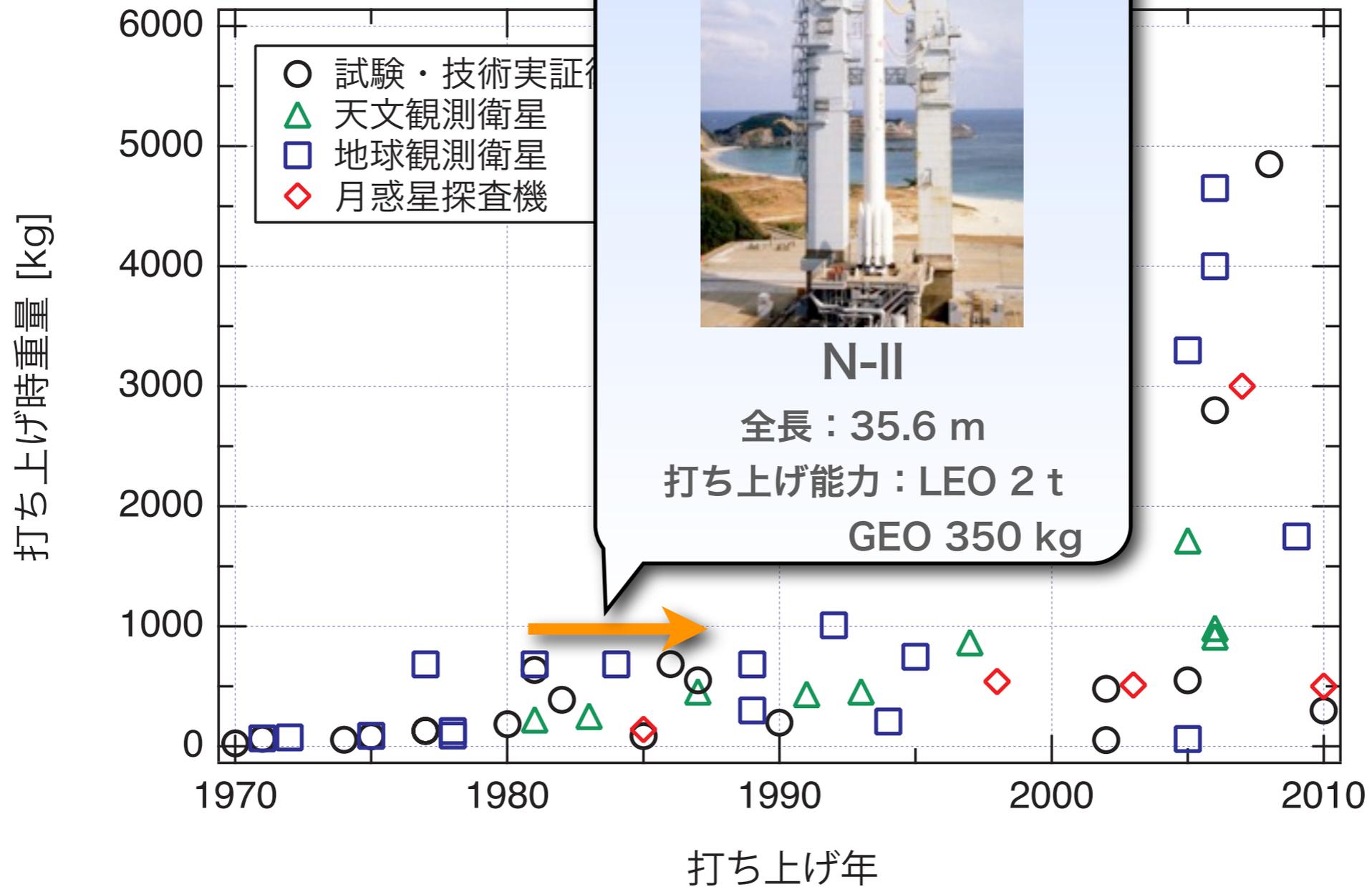
日本の人工衛星の重量の推移

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力



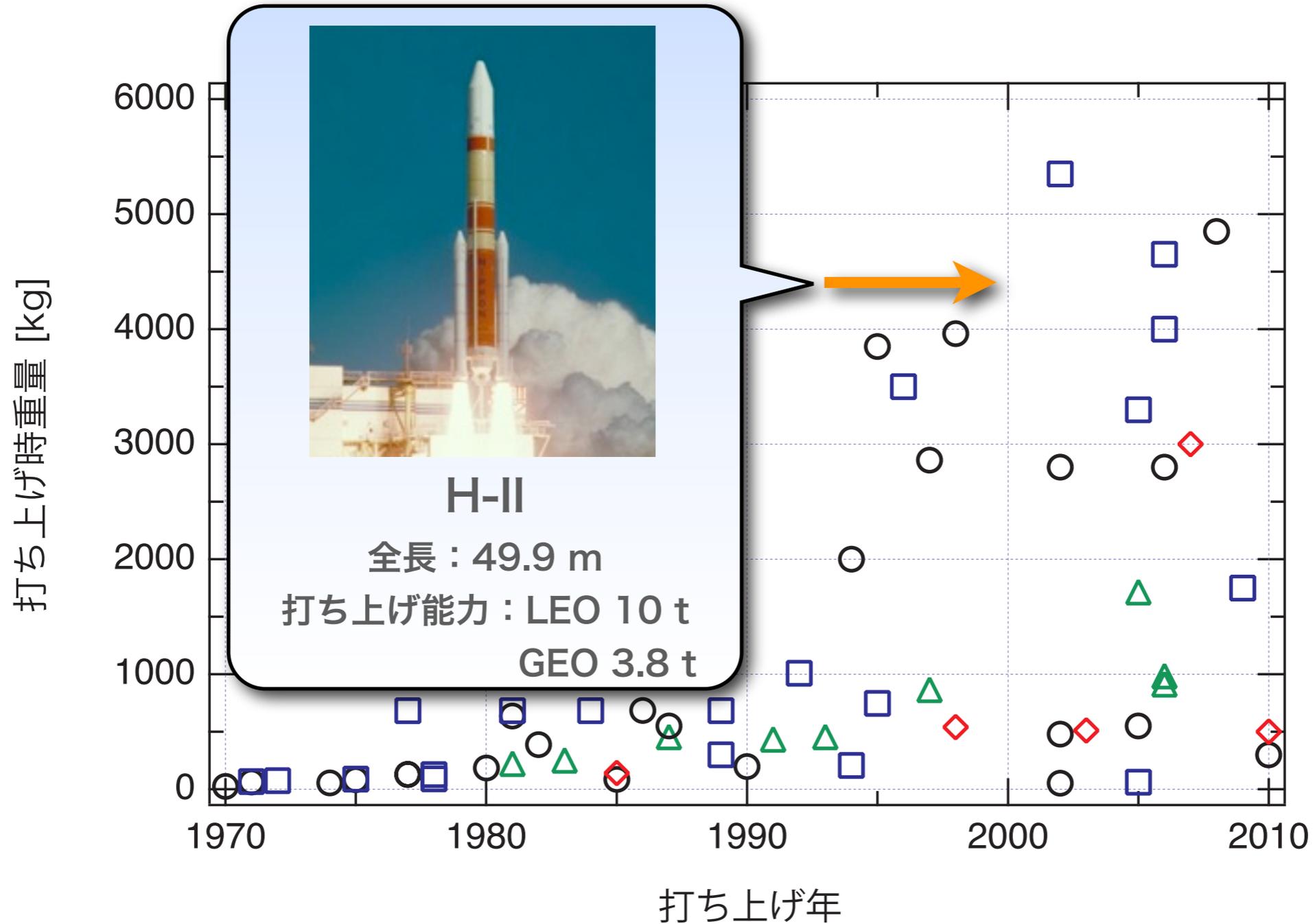
日本の人工衛星の重量の推移

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力



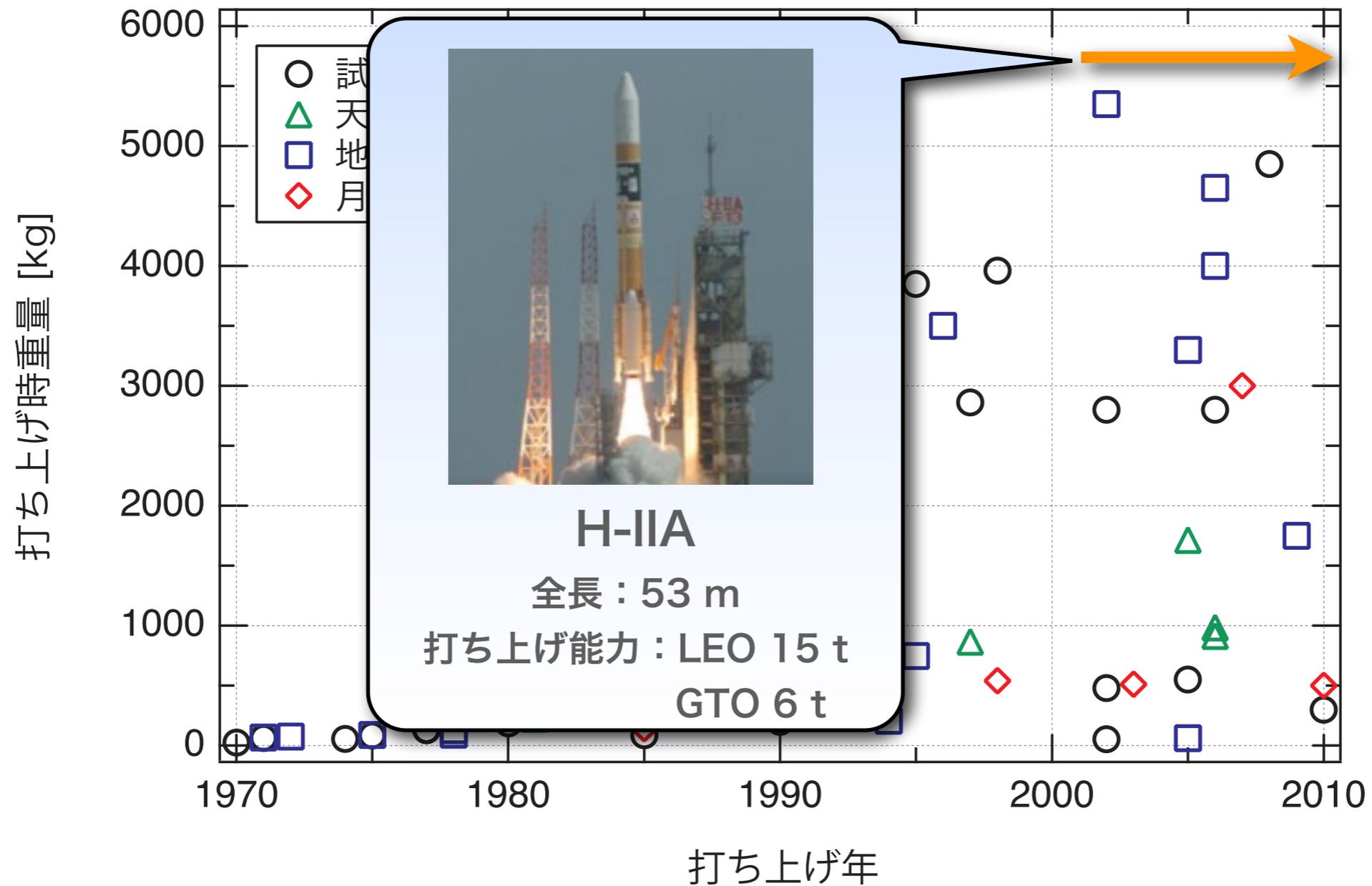
日本の人工衛星の重量の推移

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力



日本の人工衛星の重量の推移

衛星の重量とロケットの打ち上げ能力

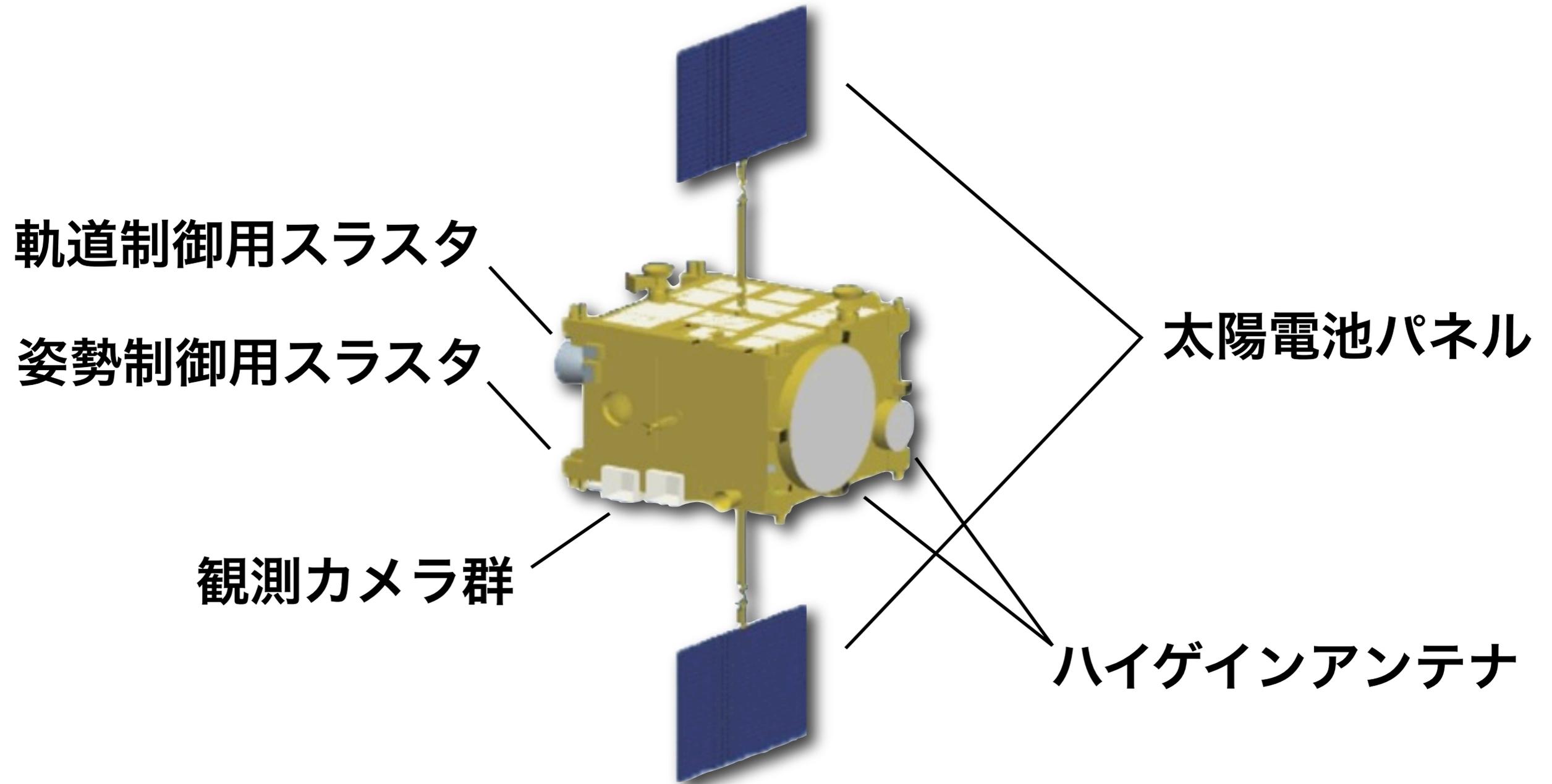


日本の人工衛星の重量の推移

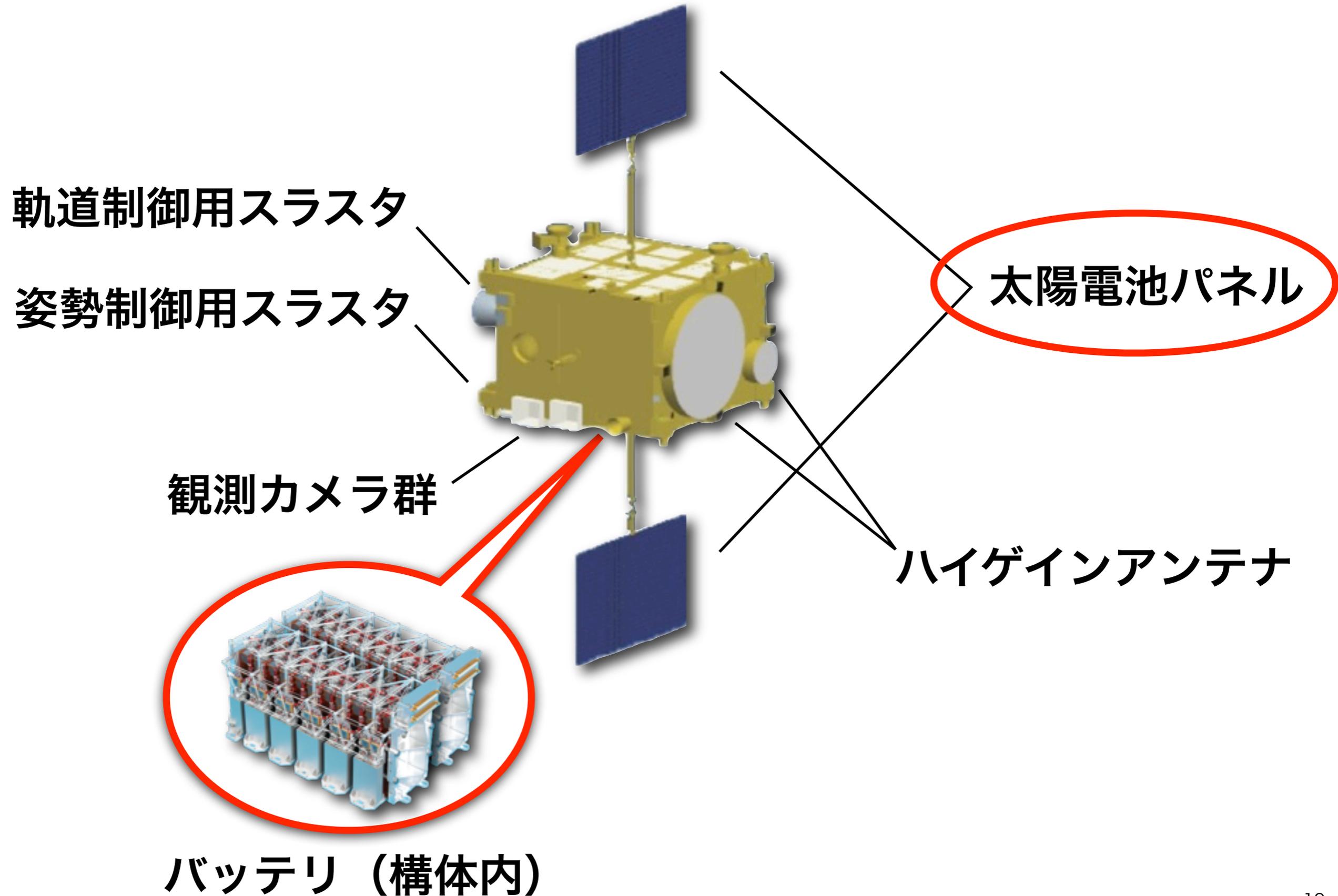
宇宙用電源の特徴と開発の実際

～金星探査機あかつきを例に取りながら～

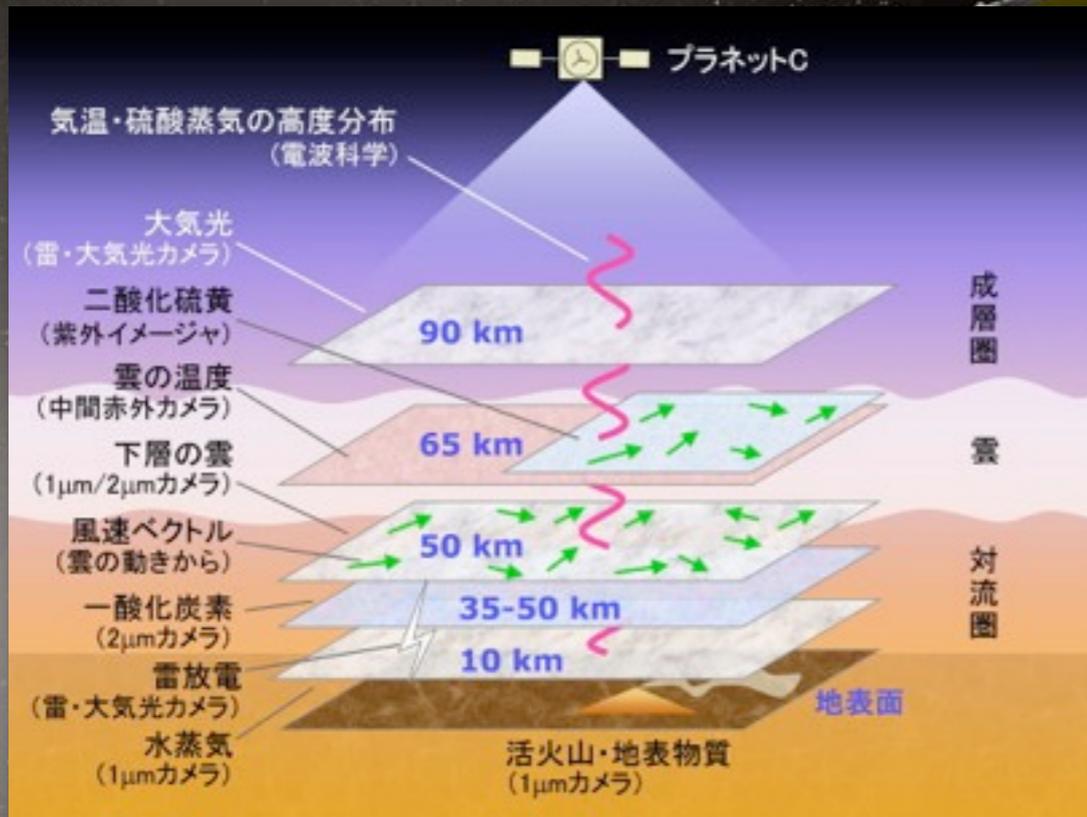
人工衛星の「電源」とは



人工衛星の「電源」とは



金星探査機あかつき

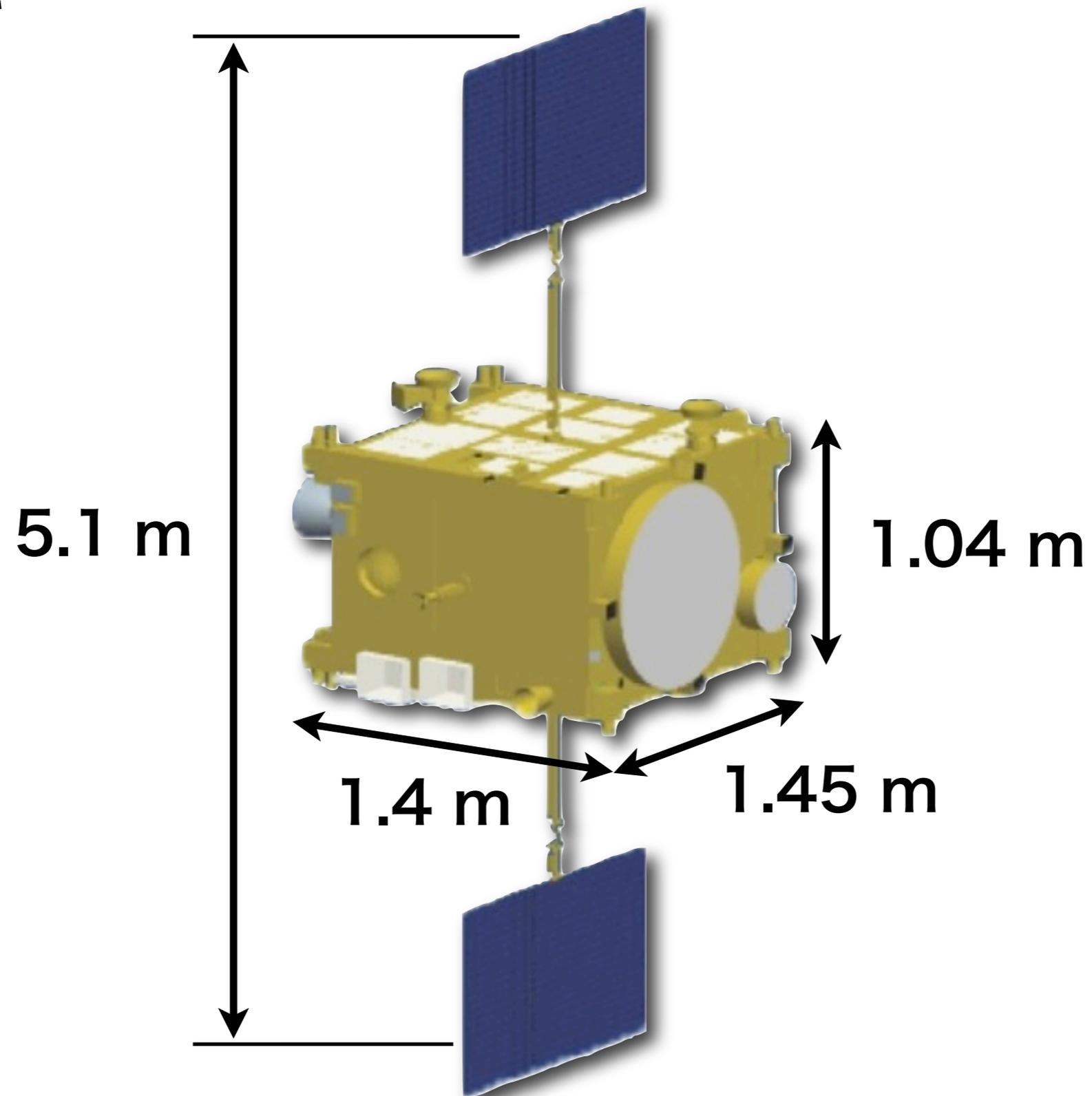


金星：
46億年前に誕生。
地球の0.95倍の大きさ。
地球の0.94倍の密度。
二酸化炭素の大気。
表面 460°C。
90気圧。

- 2001年 ミッション提案
- 2002年 基本設計開始
- 2004年 PM製造開始
- 2008年 FM製造開始
- 2010年5月 打ち上げ
- 2010年12月 金星会合・周回軌道投入失敗
- 2015年11月 金星再会合予定

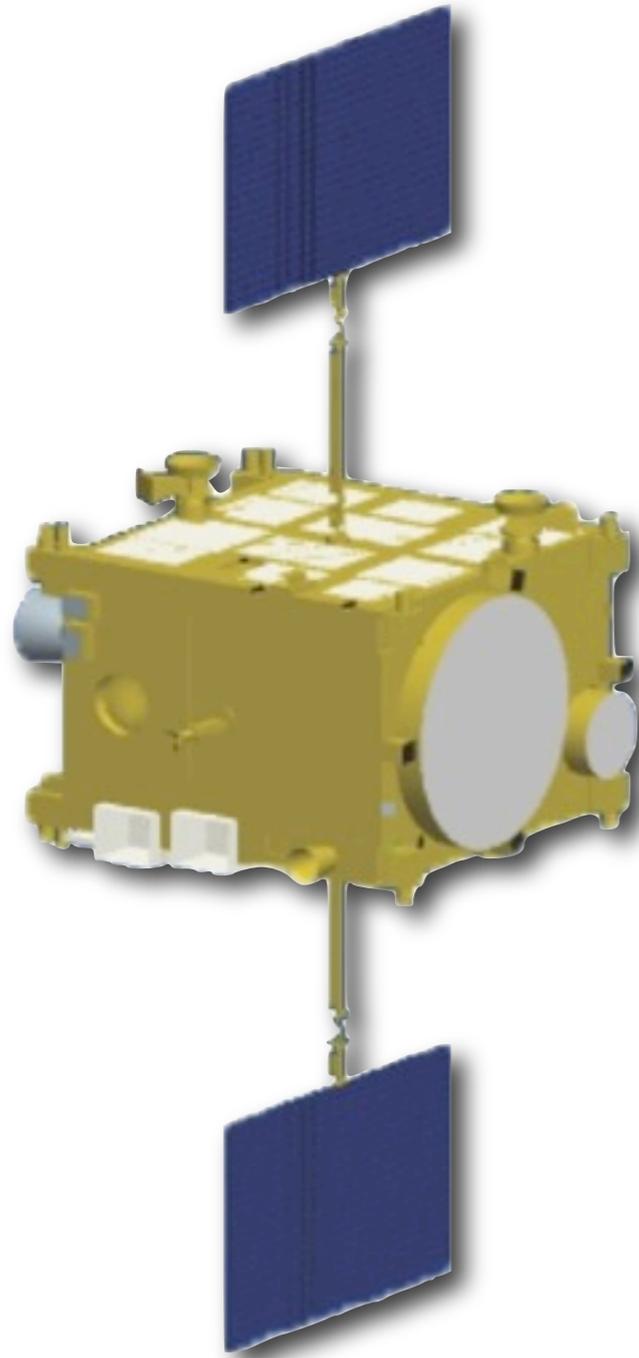
「あかつき」のイメージ

大きさ



「あかつき」のイメージ

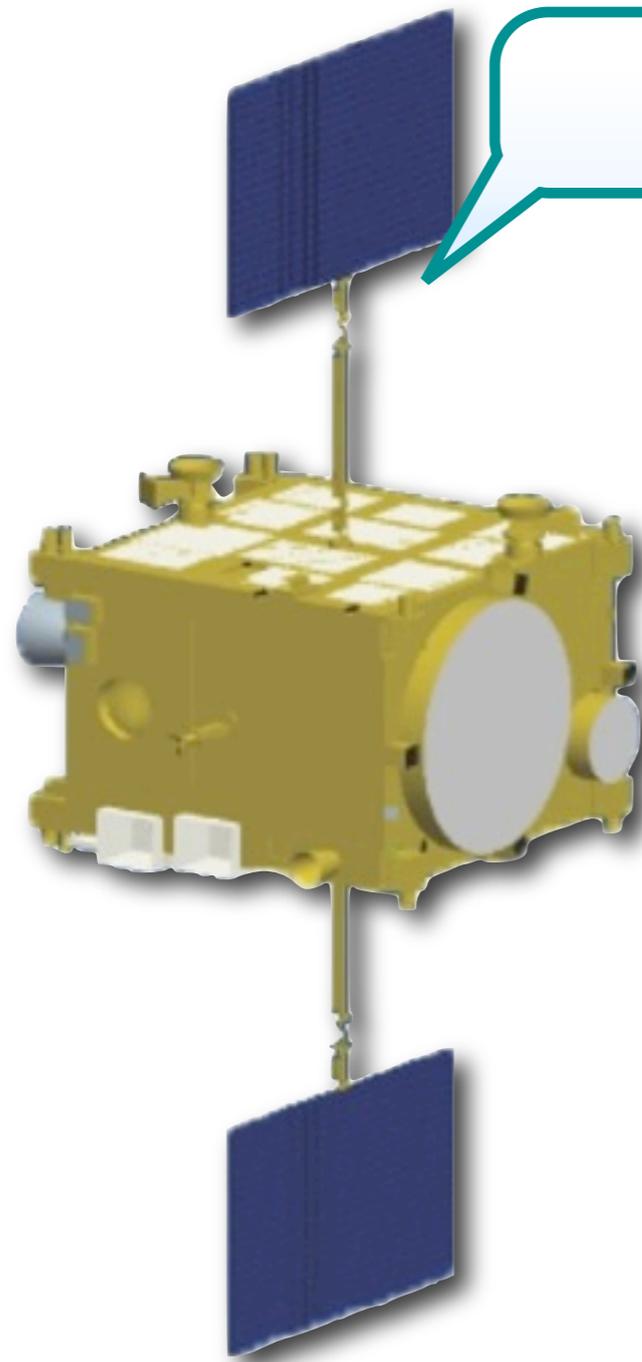
大きさ



軽自動車に積めるくらい大きさ

「あかつき」のイメージ

重さ



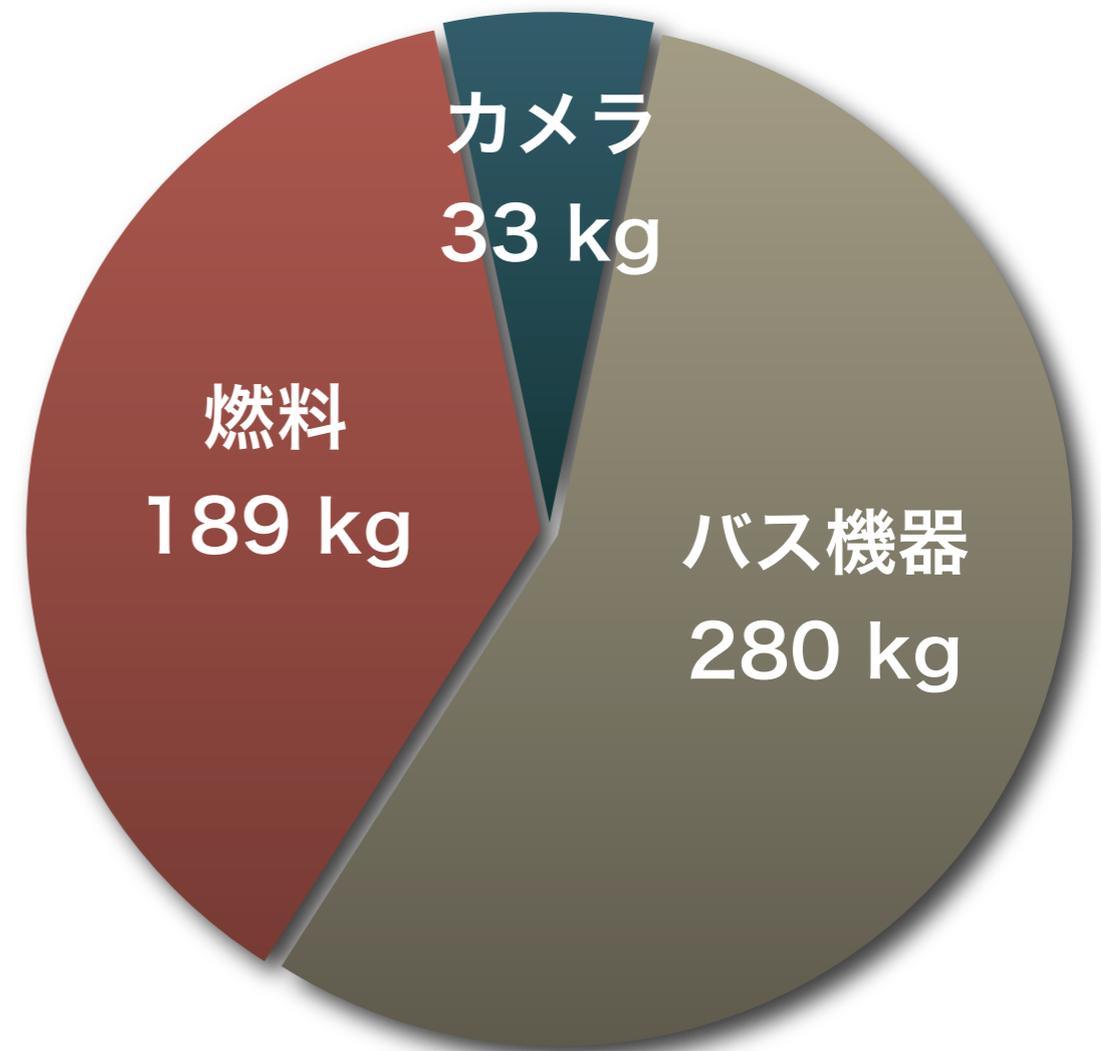
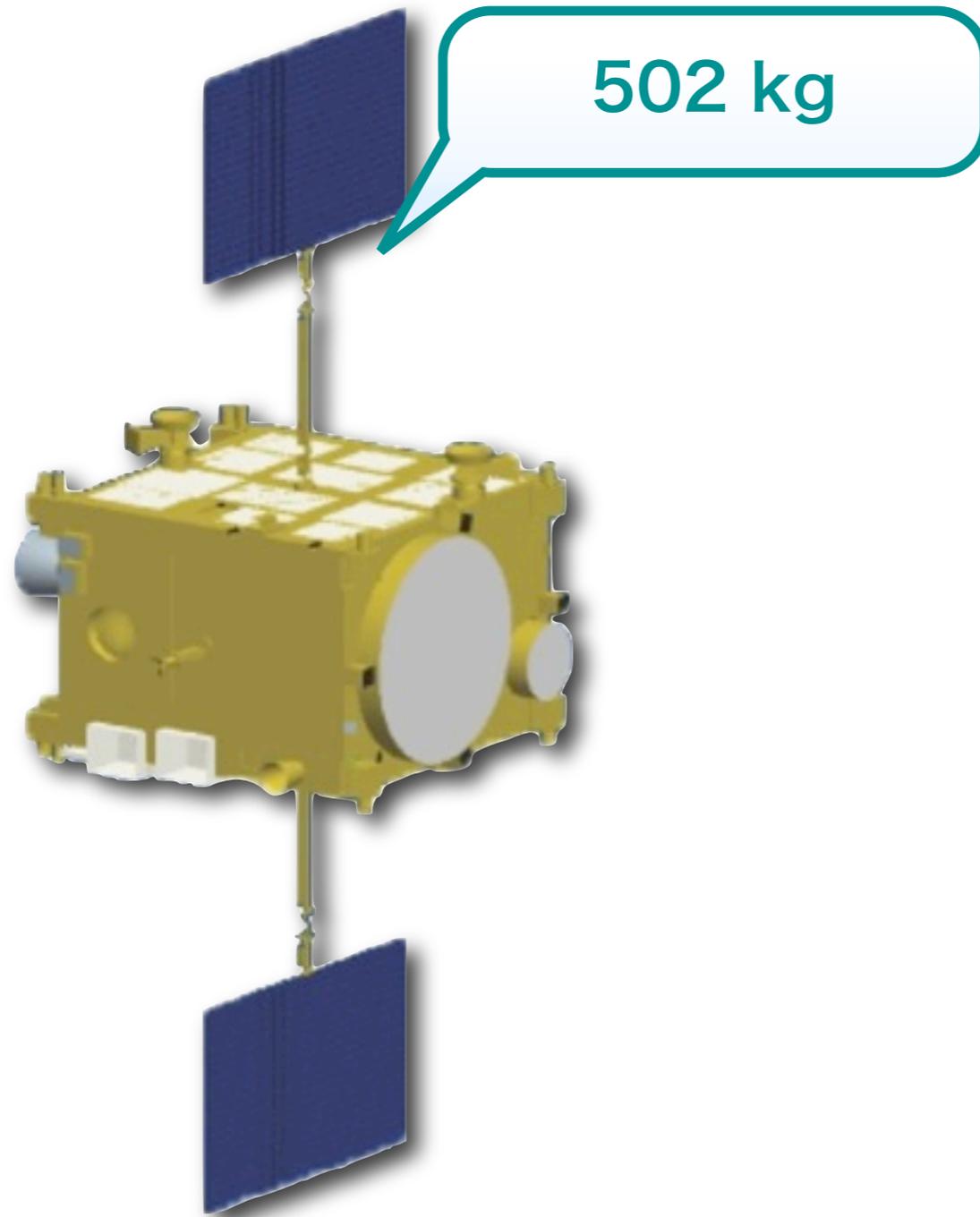
502 kg



890 kg

「あかつき」のイメージ

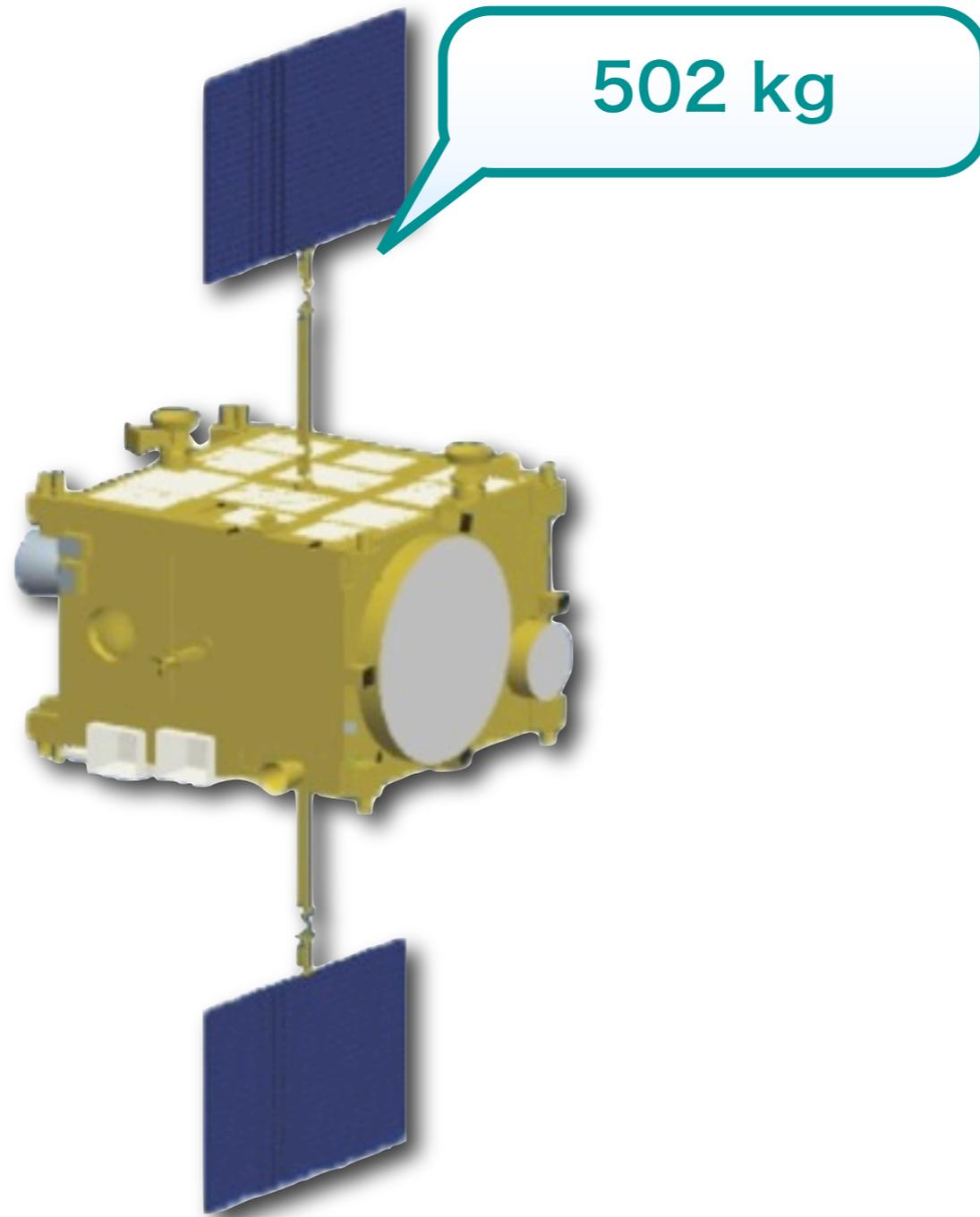
重さ



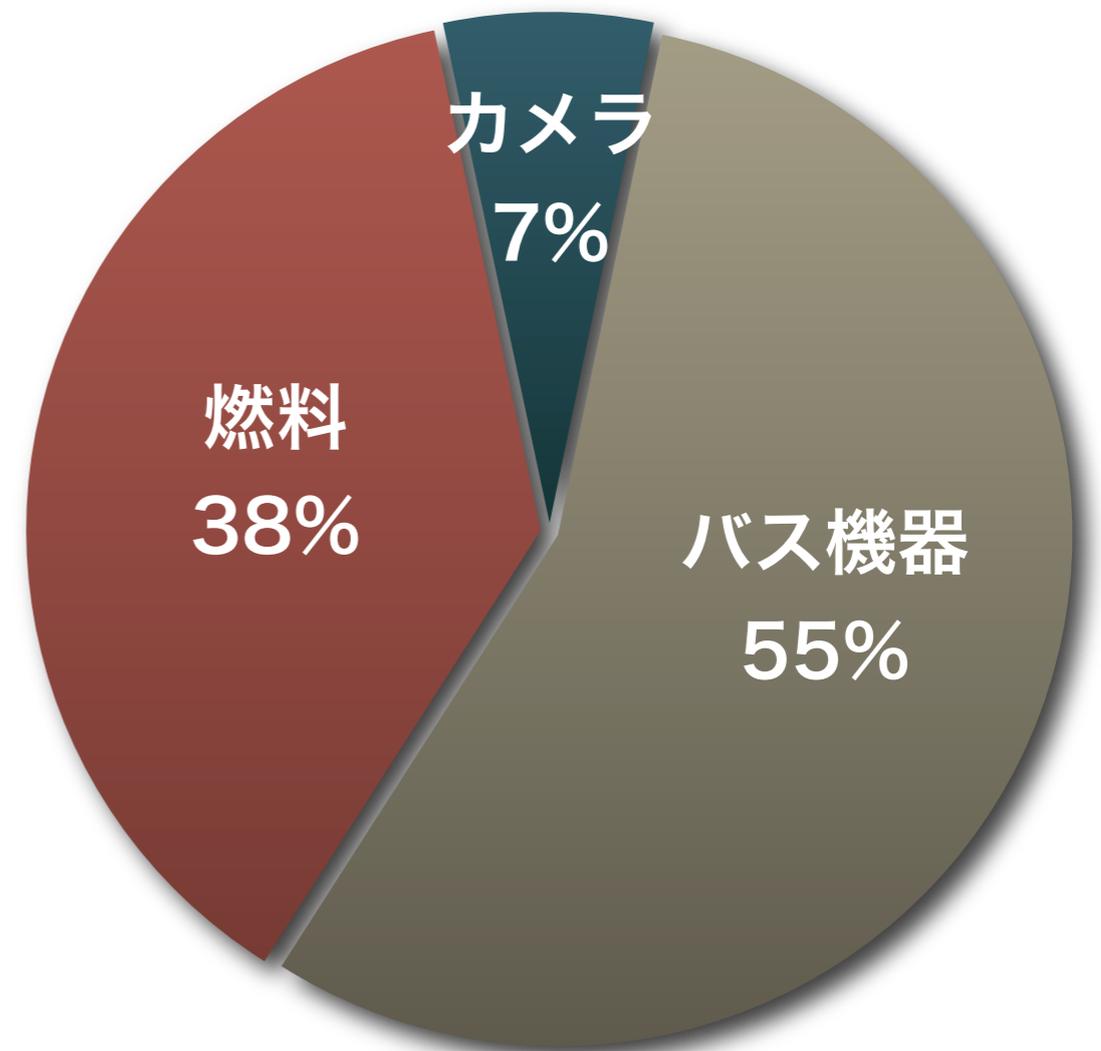
質量内訳

「あかつき」のイメージ

重さ



パーセントにすると、



質量内訳

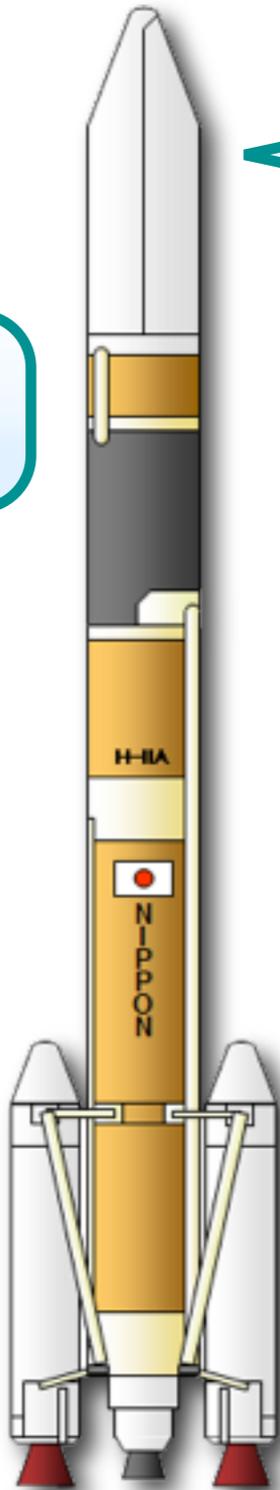
「あかつき」のイメージ

重さ



あかつき
502 kg

H2Aロケット
全長: 53 m
重量: 289 t



あかつき: 0.2%
(うち、カメラ 0.01%)

ロケット
99.8%

30 kgのカメラを金星に運ぶために
約300 tのロケットが必要!

「あかつき」のイメージ

電力



「あかつき」のイメージ

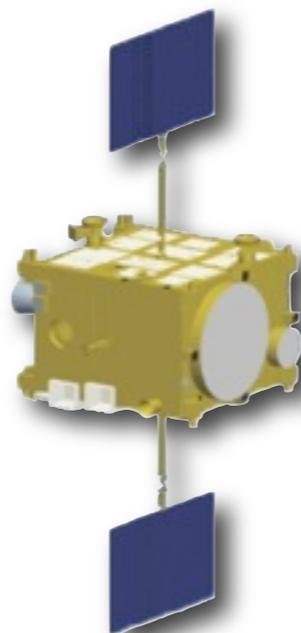
電力

100 W

500 W

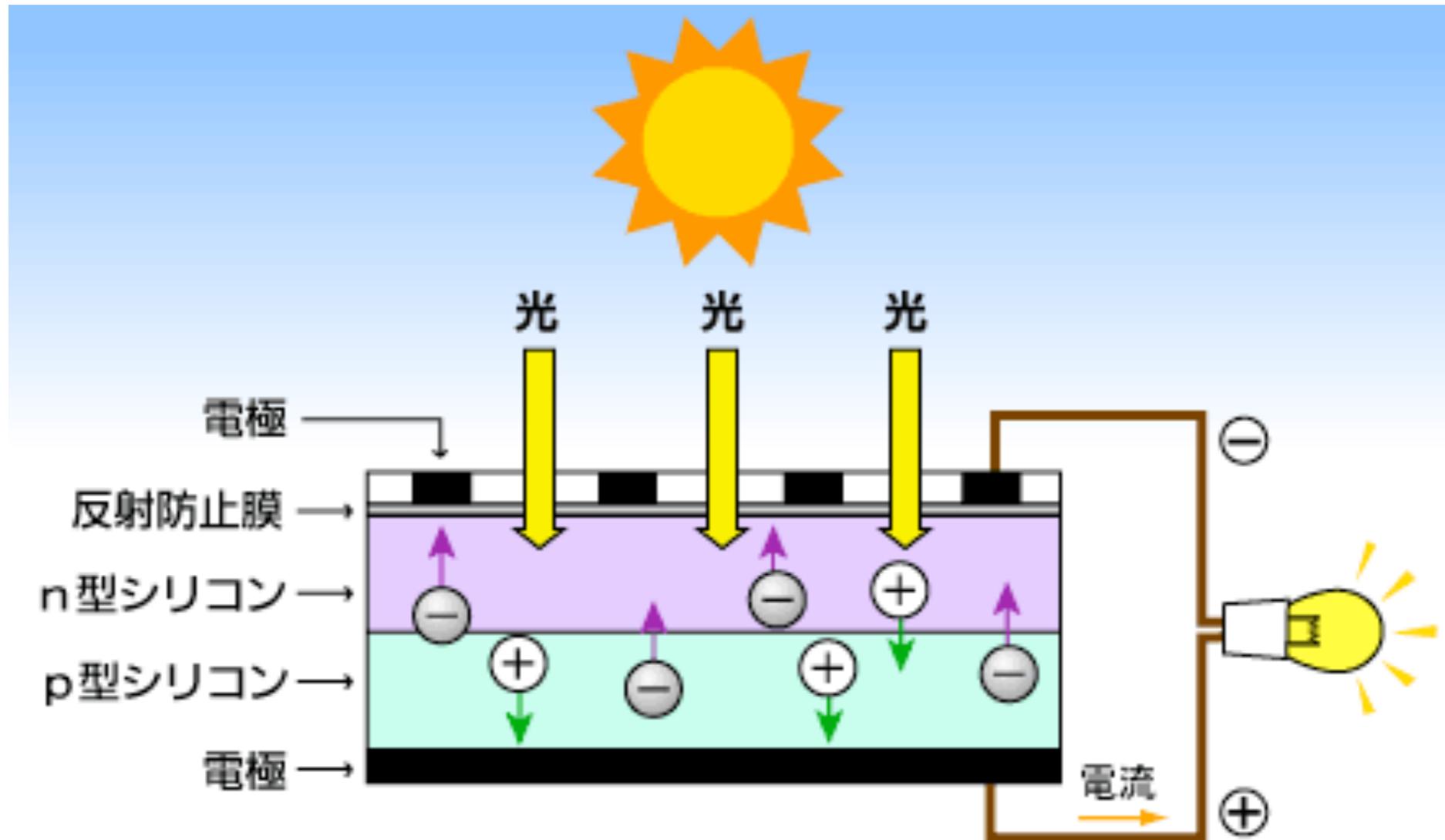
1000 W

1200 W



人工衛星や探査機は
けっこう省電力

太陽電池の原理

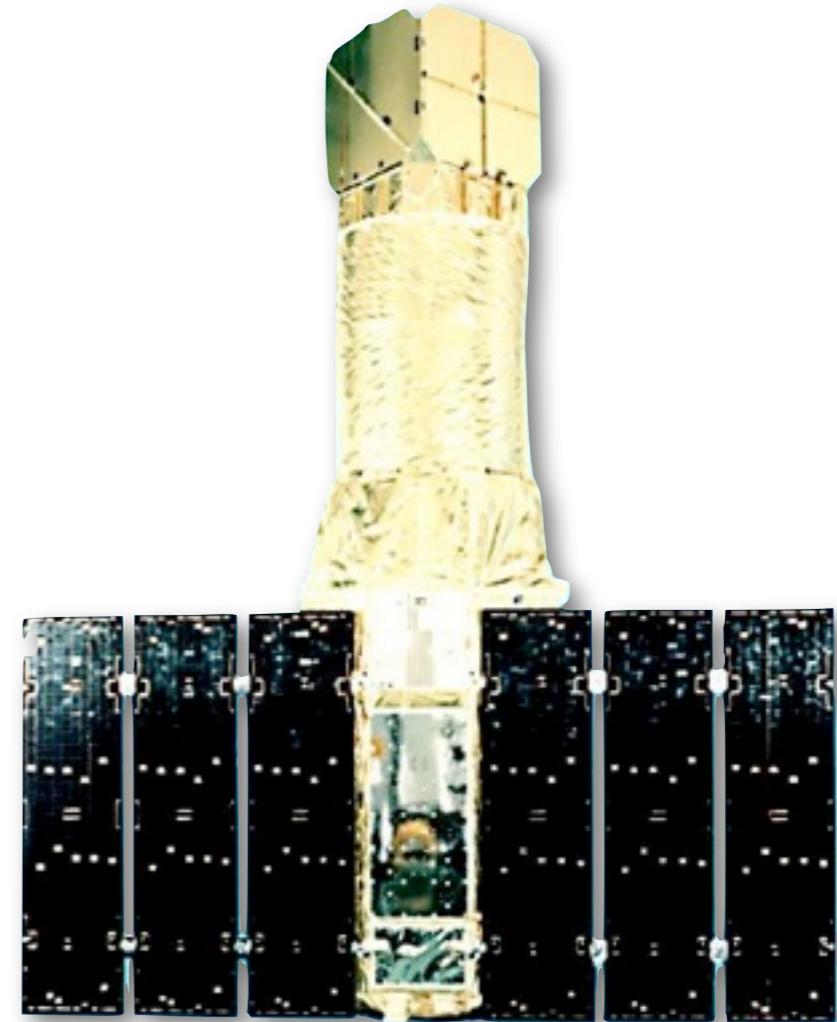


▶ 難しい説明・・・

1. p型基板とn型基板を接合することで、界面に電界が形成される（内蔵電界）。
2. 太陽電池基板への光入射によって、電荷が発生する（光電効果）。
3. 発生した電荷は内蔵電界により加速され、電極に到達すると外部に取り出される。

宇宙用太陽電池に求められる性能

- ▶ 高い変換効率と軽量であること
- ▶ 宇宙環境耐性
 - ・ 打ち上げ時の振動、衝撃
 - ・ 高真空 ($10^{-5} \sim 10^{-8}$ Pa)
 - ・ $-100^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ 以上の温度変化
 - ・ 電離気体
 - ・ 宇宙放射線
 - ・ 紫外線
 - ・ メテオロイド、デブリ
- ▶ 高信頼性・長寿命



X線天文衛星「あすか」
(1993～2001)

宇宙用太陽電池の変換効率

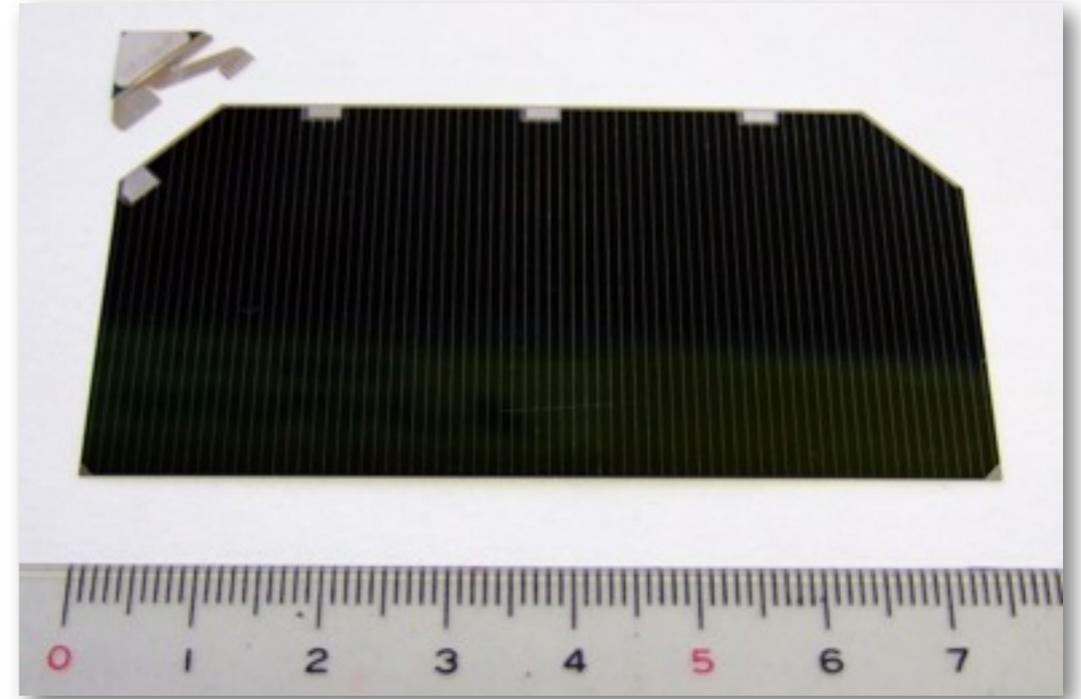


SHARP

住宅用太陽光発電システム

変換効率：15%程度
(多結晶シリコン)

価格：200円/W程度



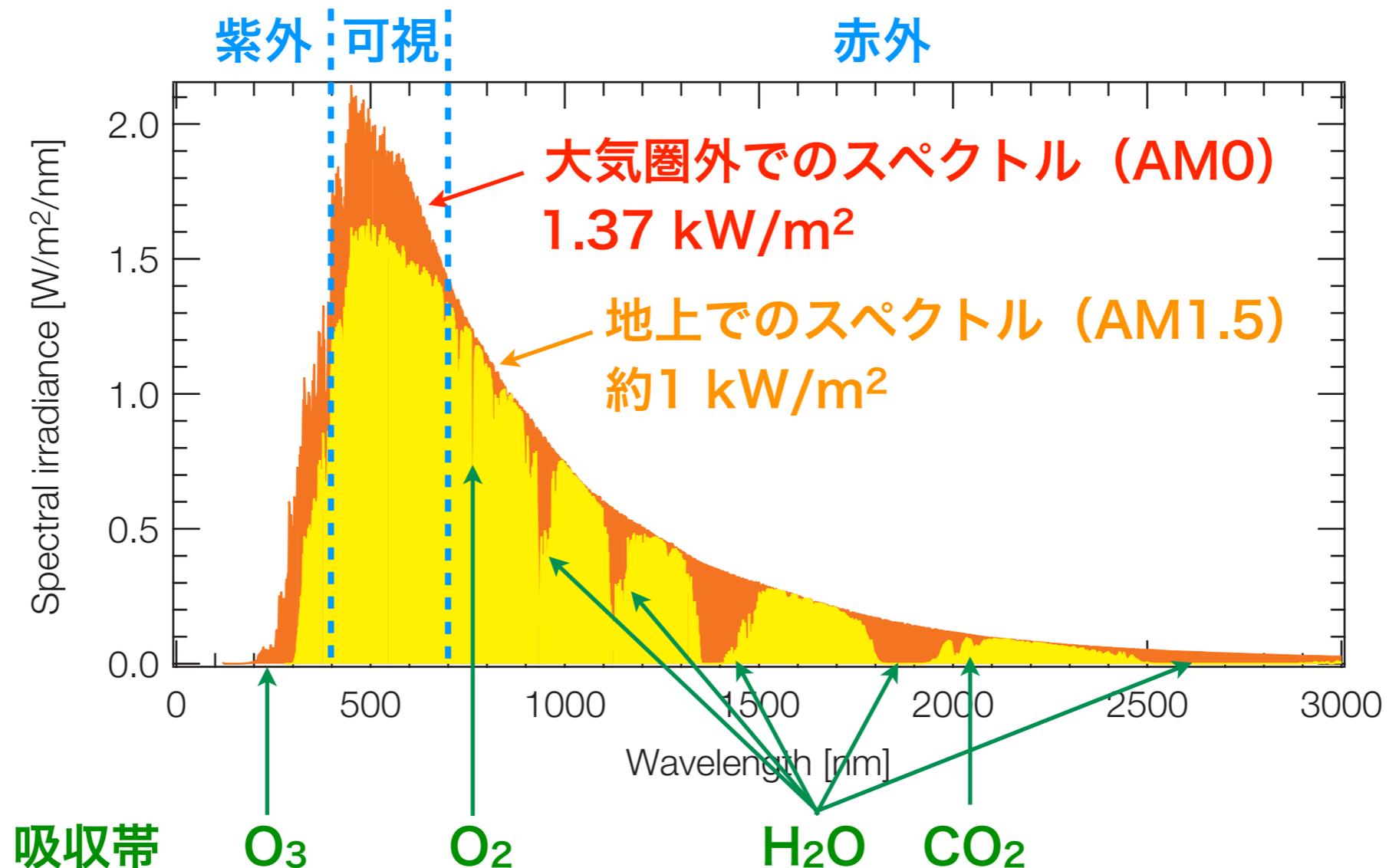
SHARP

宇宙用太陽電池

変換効率：30%程度
(化合物系三接合)

価格：30,000円/W程度

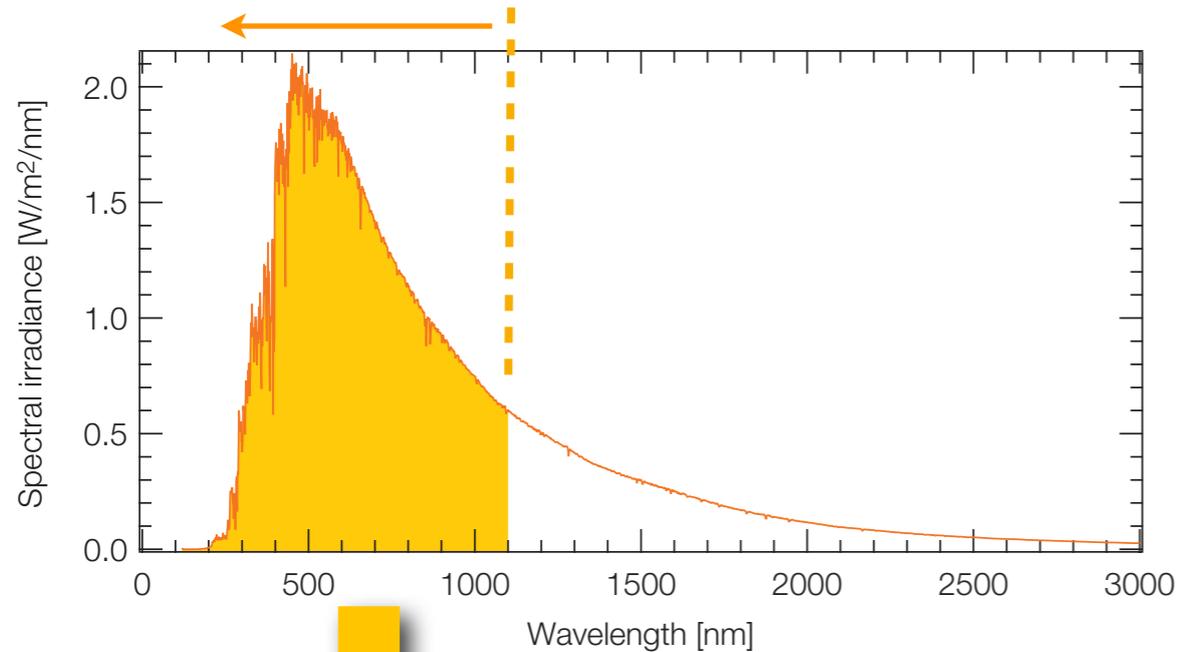
太陽光スペクトル



AM: Air Mass = 大気の種類
AM1=赤道上的大気の厚み

宇宙用太陽電池の構造

バンドギャップ以上の光を吸収できる

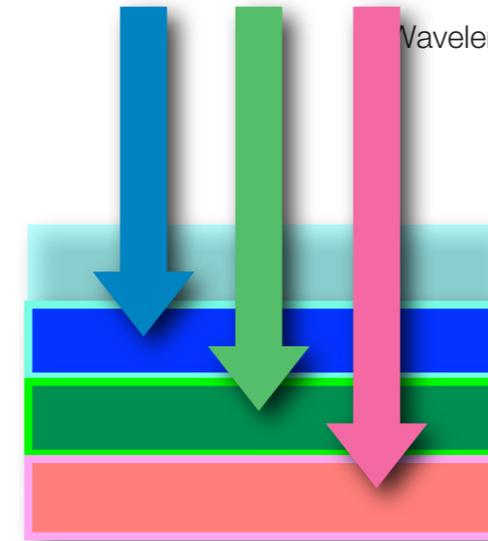
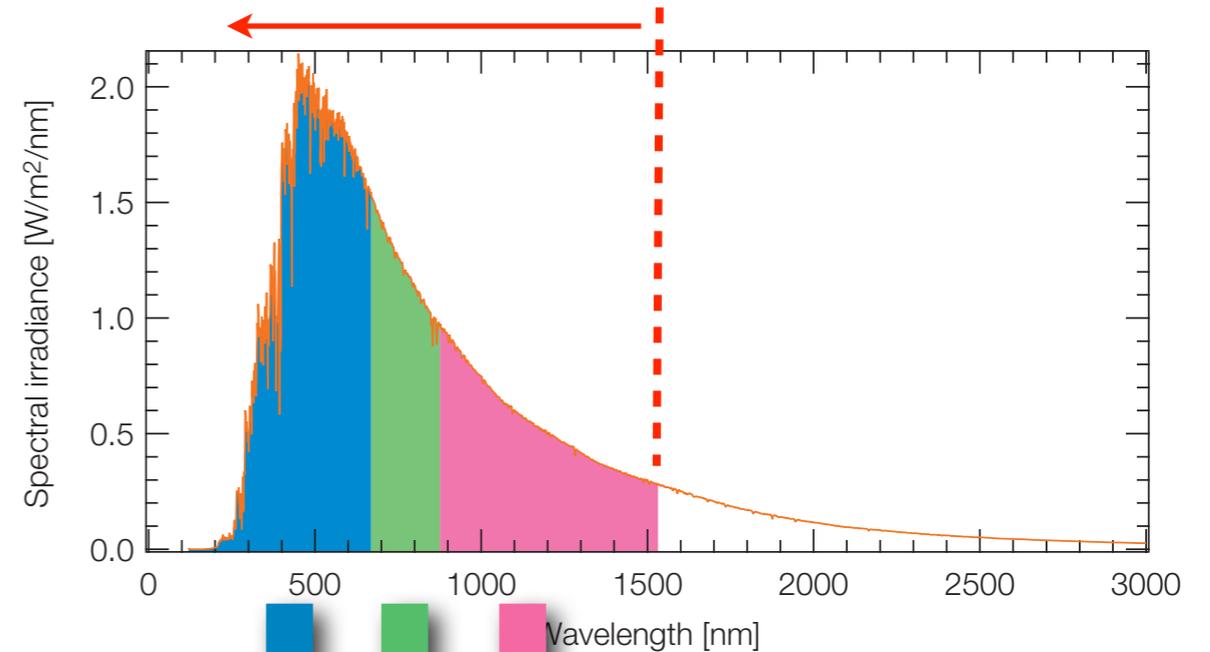


← カバーガラス
← シリコン

住宅用シリコン太陽電池

変換効率：約15%

より広い波長範囲の光を吸収できる

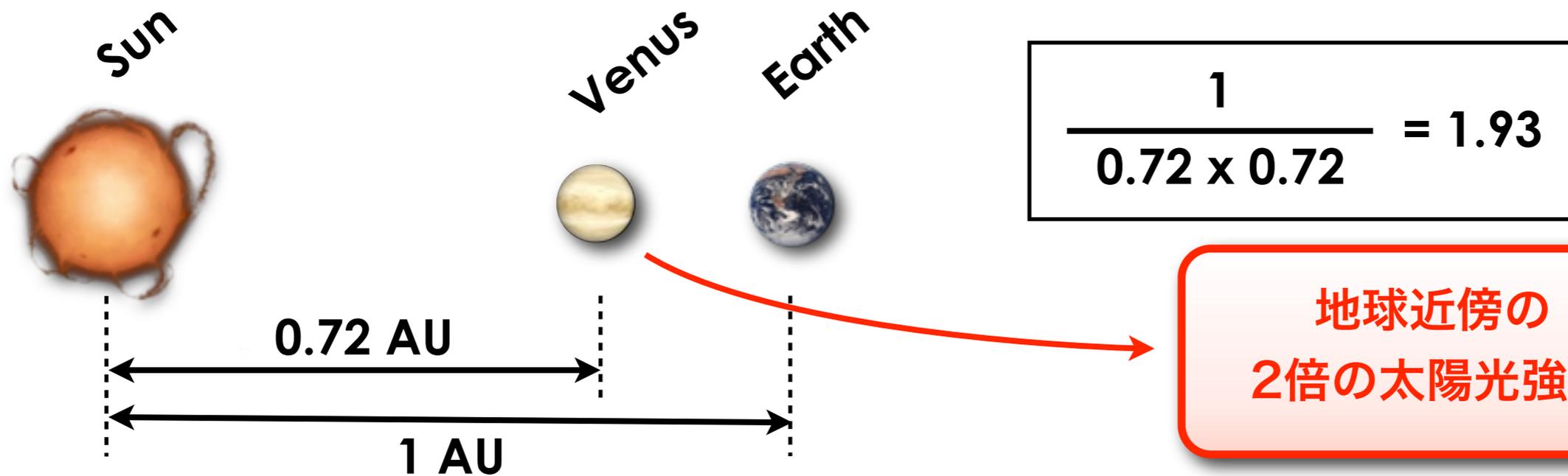


← カバーガラス
← InGaP太陽電池
← GaAs太陽電池
← Ge太陽電池

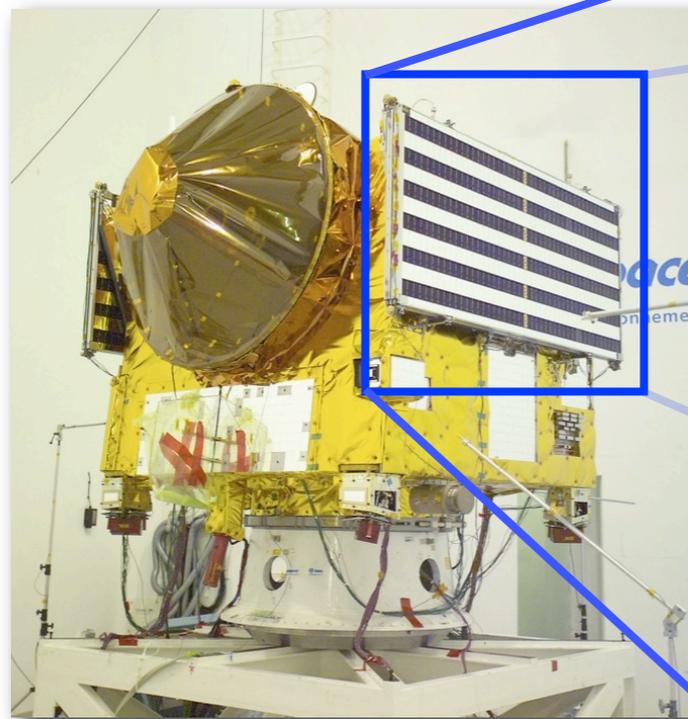
宇宙用三接合太陽電池

変換効率：約30%

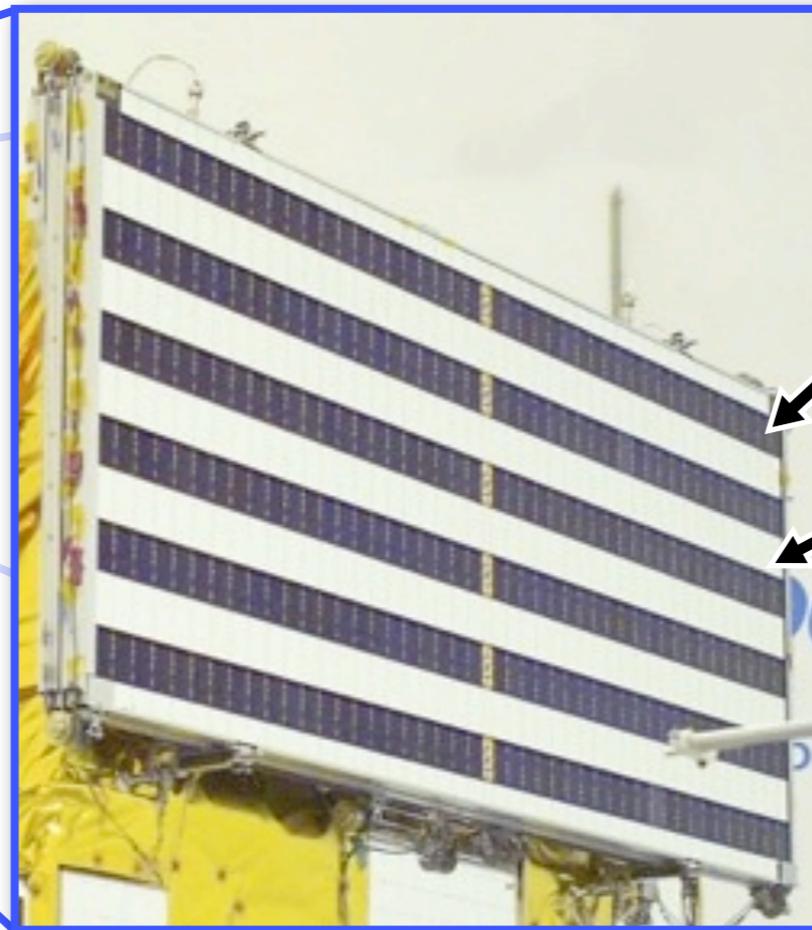
あかつき太陽電池パネルの特徴と開発課題



地球近傍の
2倍の太陽光強度



Venus Express
(2005-, ESA)



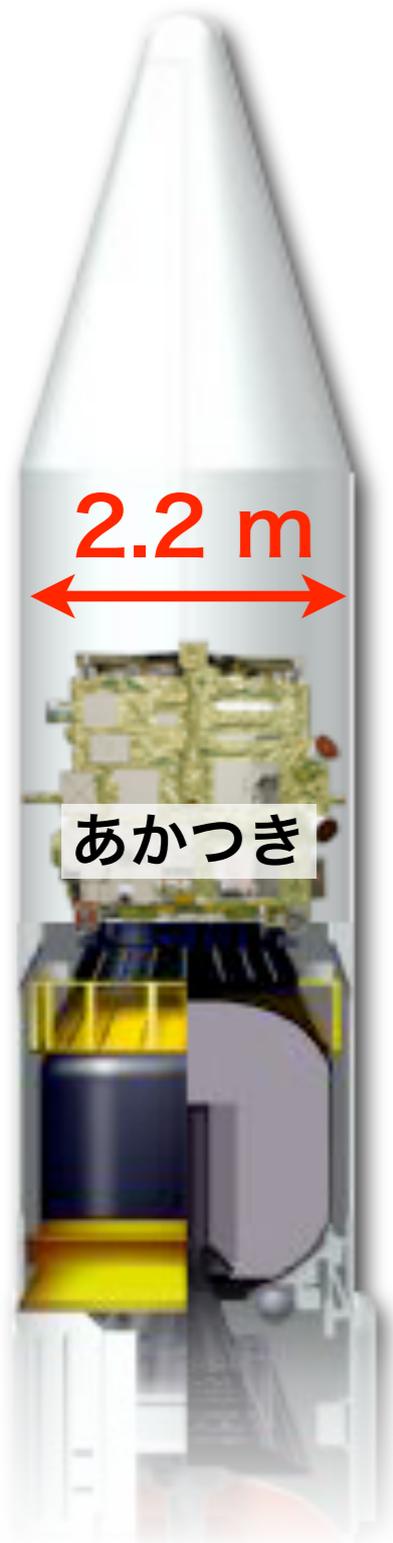
太陽電池セル

OSR

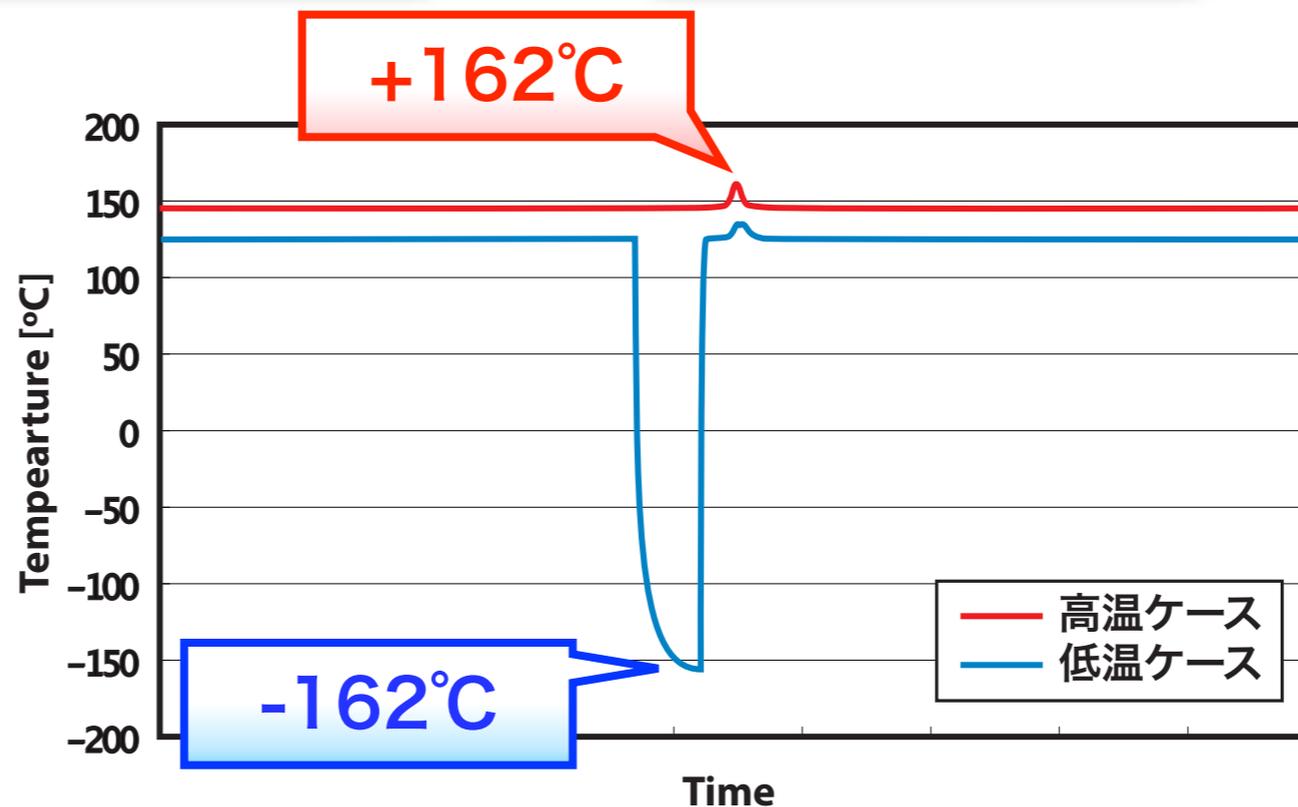
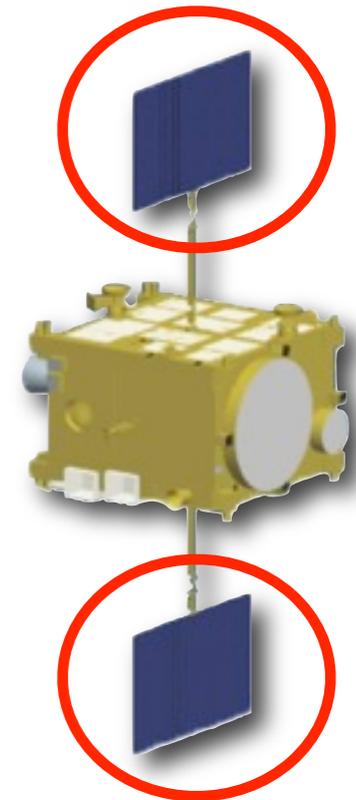
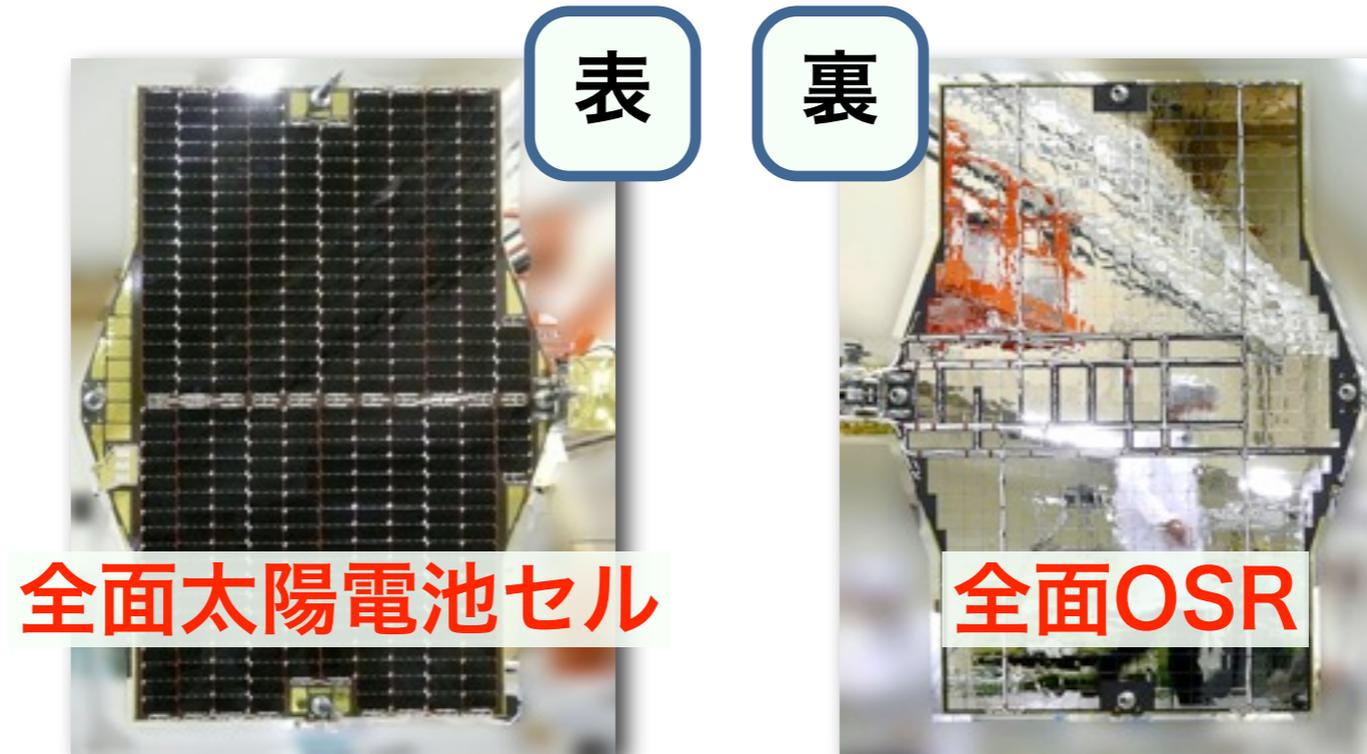
(Optical Solar Reflector)

- 太陽光を反射し温度低減
- ✕ 太陽電池セル面積減少

あかつき太陽電池パネルの特徴と開発課題

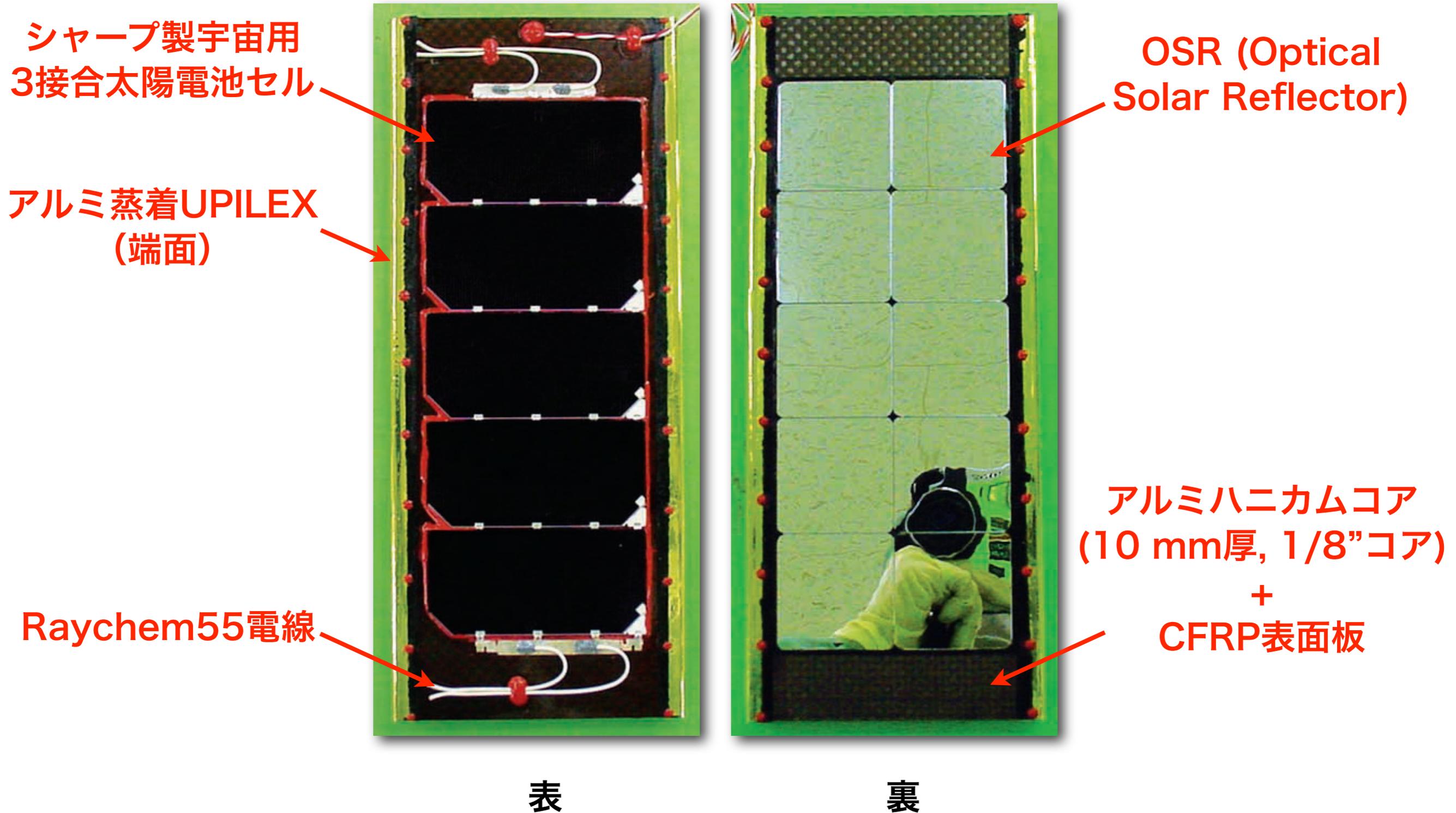


M-Vロケット



金星周回軌道上 太陽電池パネル予測温度

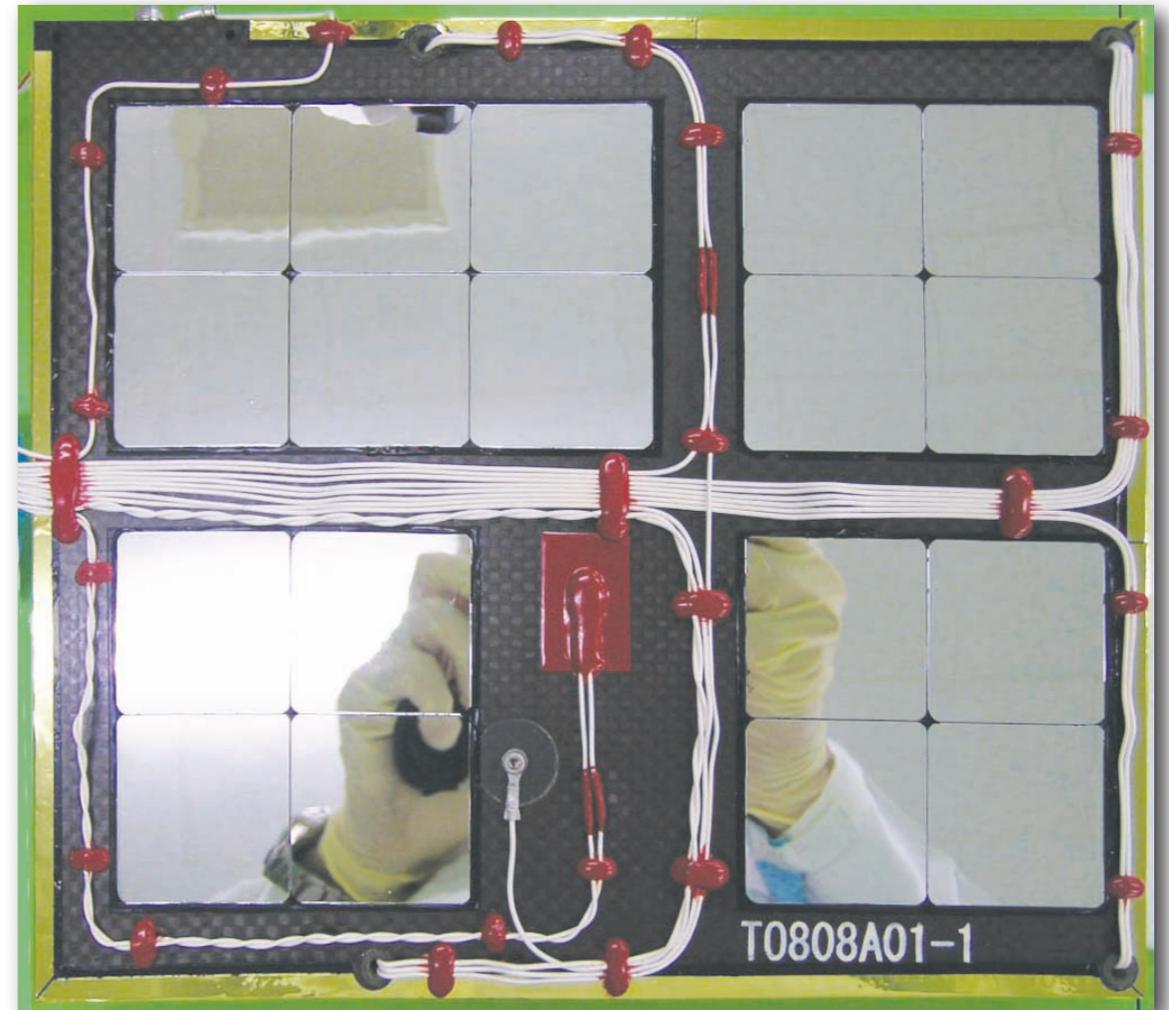
熱衝撃試験用クーポンパネル



熱衝撃試験用 改良型クーポンパネル



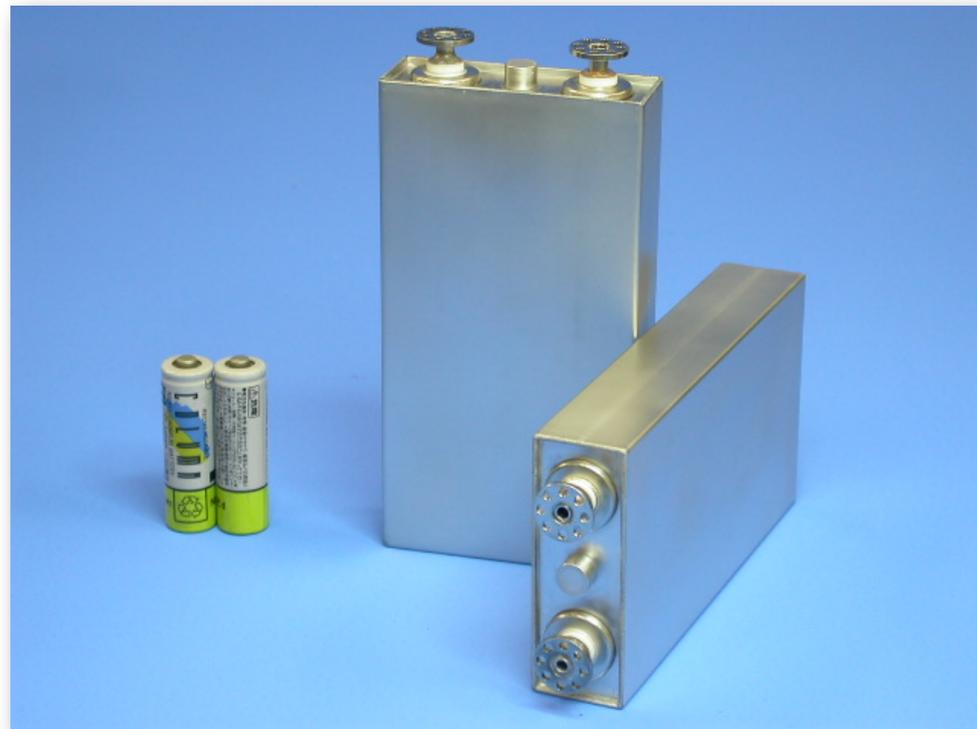
表



裏

宇宙用バッテリー

- ▶ごく最近まで、アルカリ電池（Ni-Cd, Ni-MH）が主流。
- ▶小惑星探査機「はやぶさ」が、世界で初めてリチウムイオン電池を搭載。



はやぶさ用リチウムイオン電池
(古河電池製)

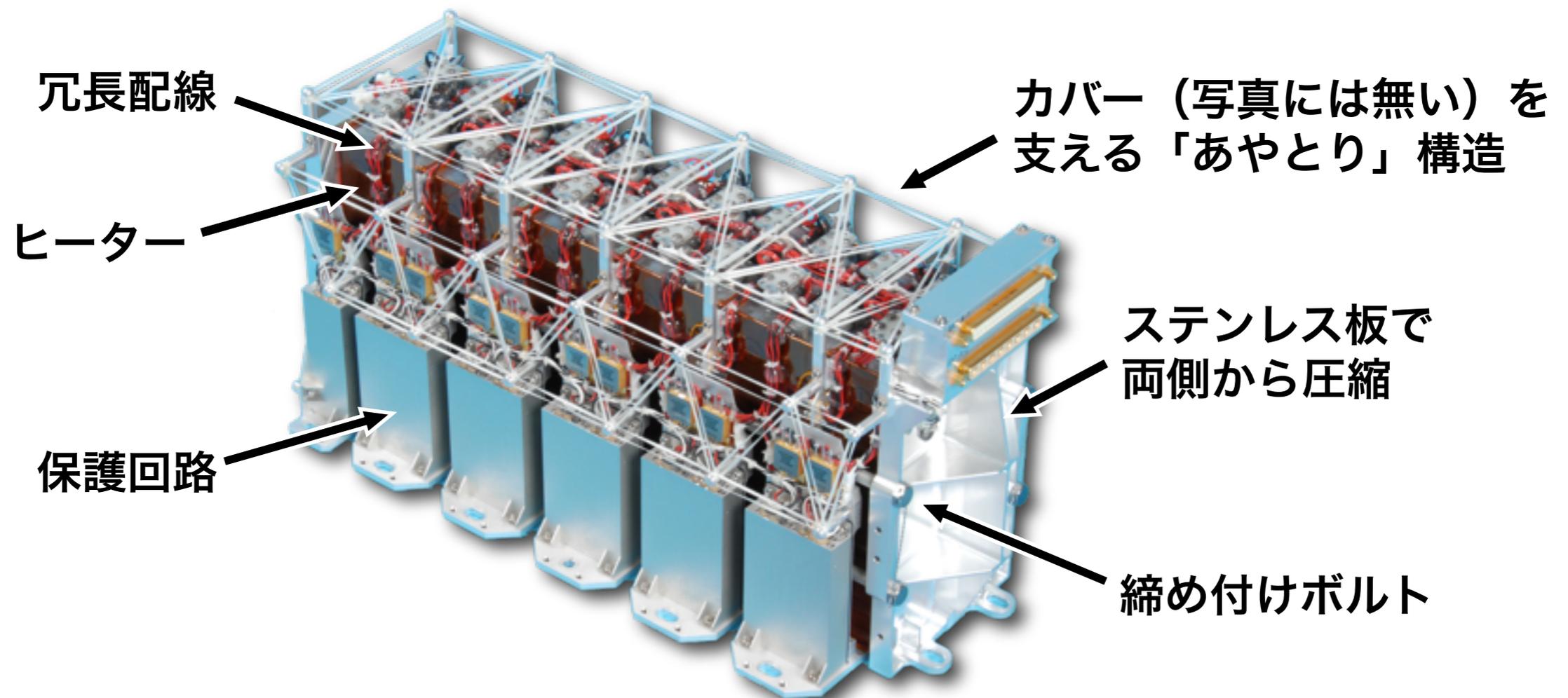
容量：13.2 Ah
エネルギー密度：85 Wh/kg



小惑星探査機「はやぶさ」

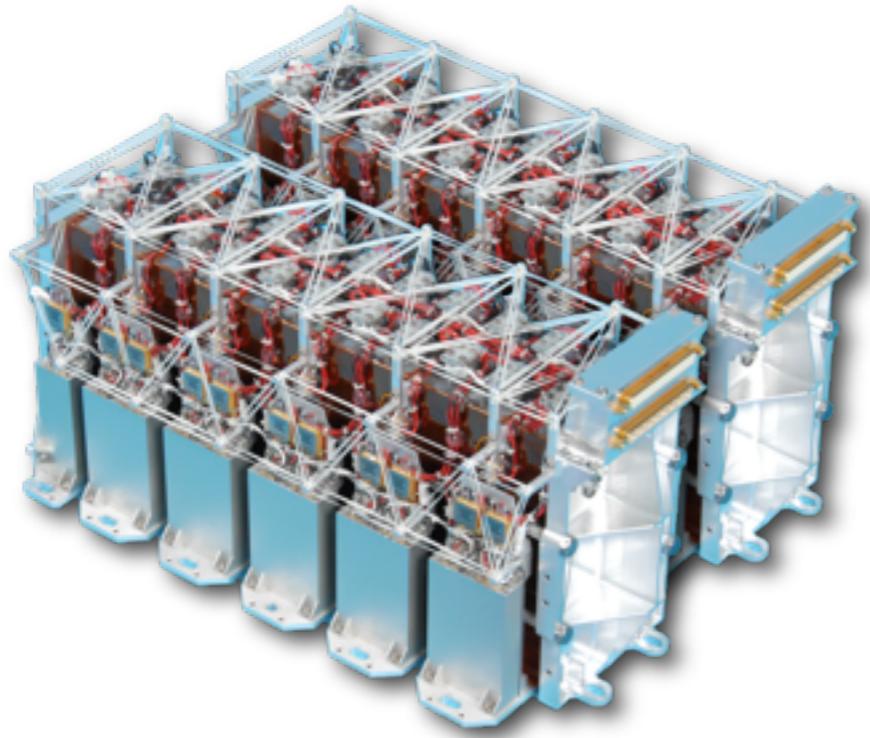
宇宙用バッテリー

- ▶ 頑丈な構造で、厳しい環境に耐える。
 - 打ち上げ時の振動、衝撃
 - 真空中での充放電に伴う膨張、収縮
- ▶ 化学反応を伴うため、温度は厳密に制御。



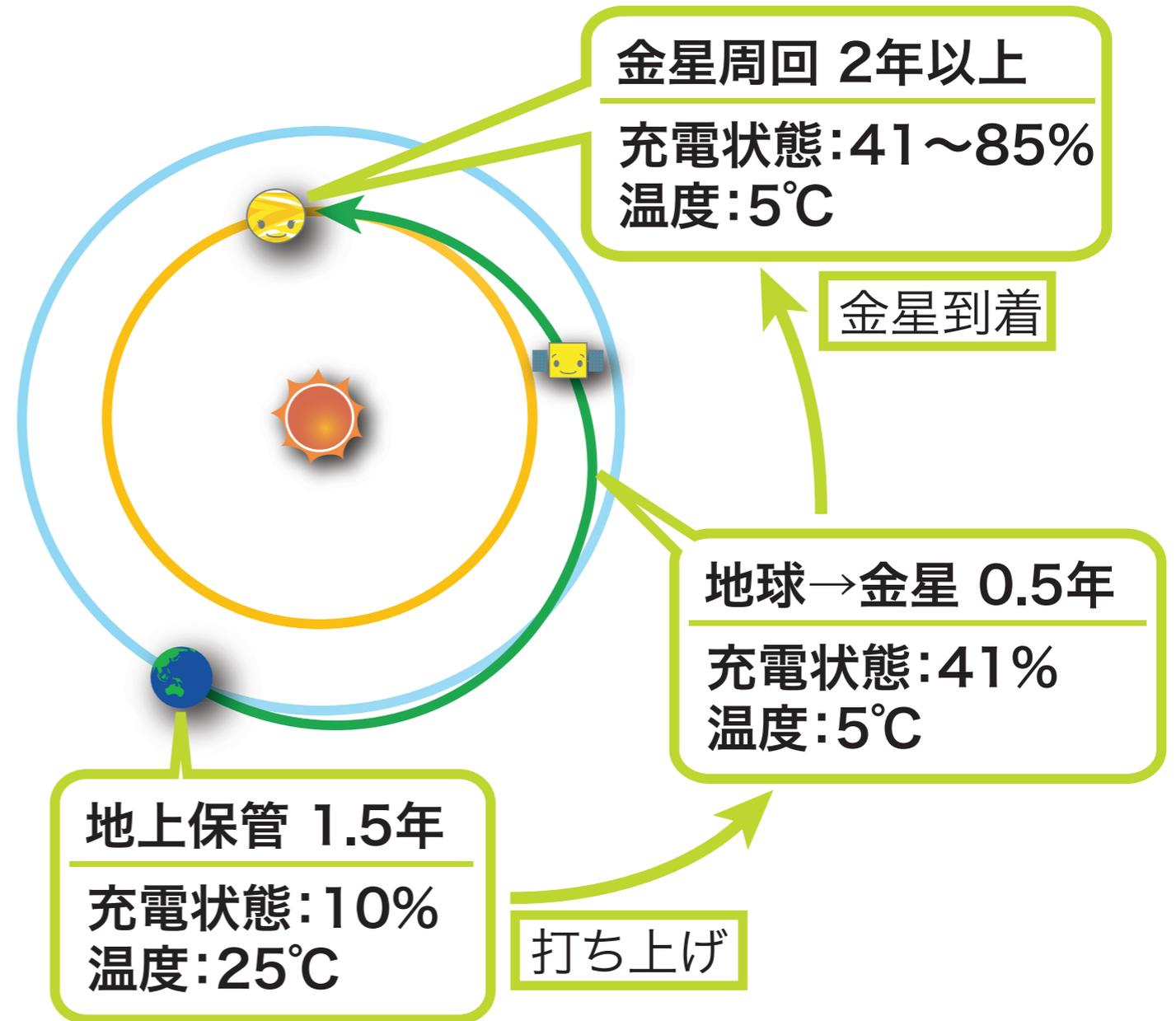
あかつき用リチウムイオン電池

あかつきのLi-ion電池の運用

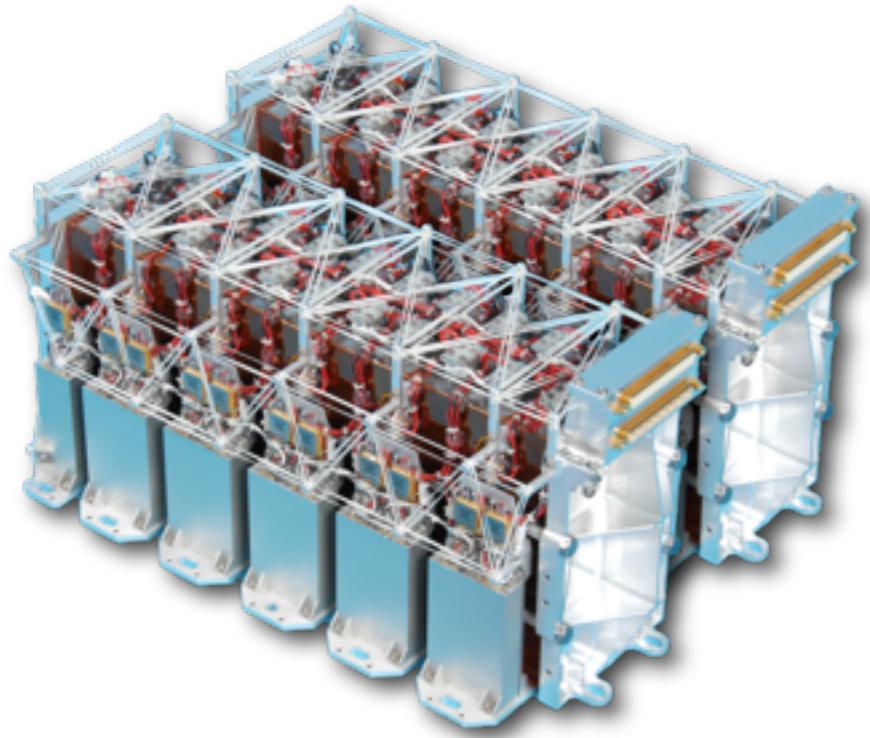


Li-ion電池は、

- ・満充電に近いほど
 - ・温度が高いほど
- 劣化が進む。



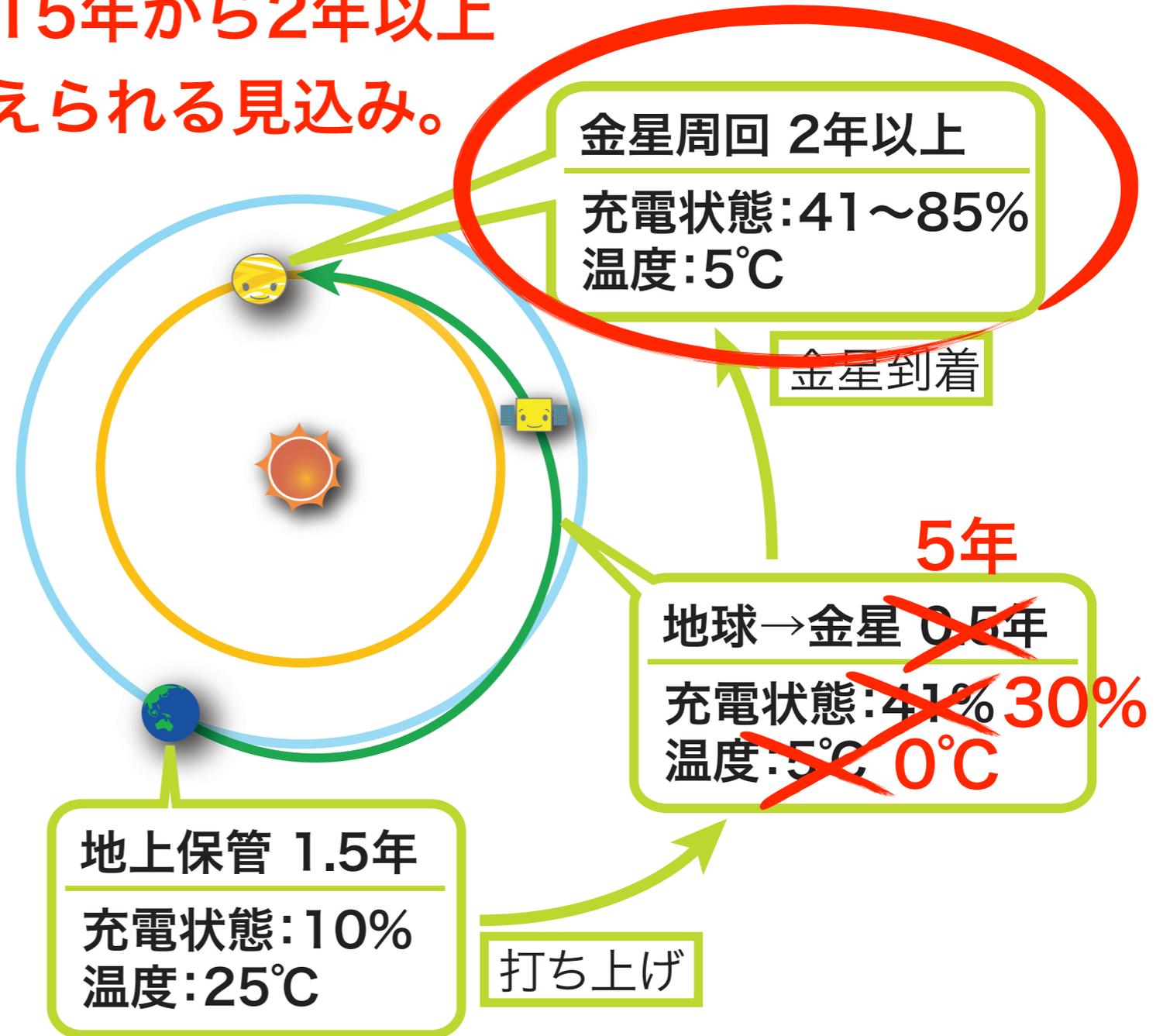
あかつきのLi-ion電池の運用

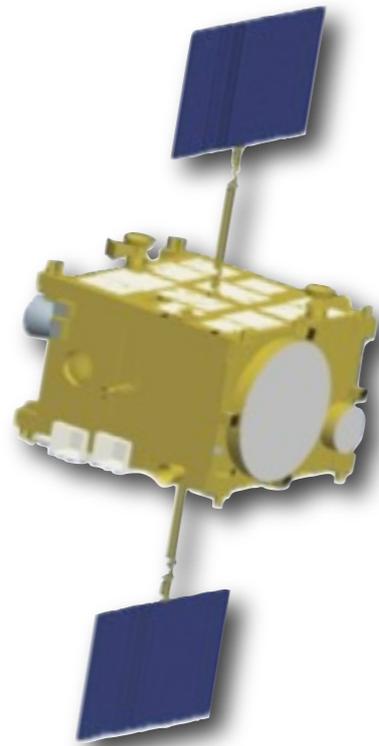


Li-ion電池は、

- ・満充電に近いほど
- ・温度が高いほど劣化が進む。

2015年から2年以上
耐えられる見込み。





ご清聴ありがとうございました。

