



AOFS/MDM 運用状況と初期解析結果について

超低高度衛星の利用に向けたワークショップ(第4回)

2018年9月18日

JAXA研究開発部門

○行松和輝、土屋祐太、後藤亜希、木本雄吾



目次



1. SLAT搭載AMOの概要

1. 背景

2. AOFS

3. MDM

2. 打ち上げからの運用状況

3. 初期データ解析結果

4. まとめ



～背景～



SLATSは超低高度軌道からの地球観測を実証することで、地球観測における新たな利用の可能性を拓くことを目的とし、下記のミッションを実施する。

SLATSのミッション

① 超低高度衛星技術の実証

— 超低高度域でのイオンエンジンによる軌道保持などの衛星運用を軌道上実証する。

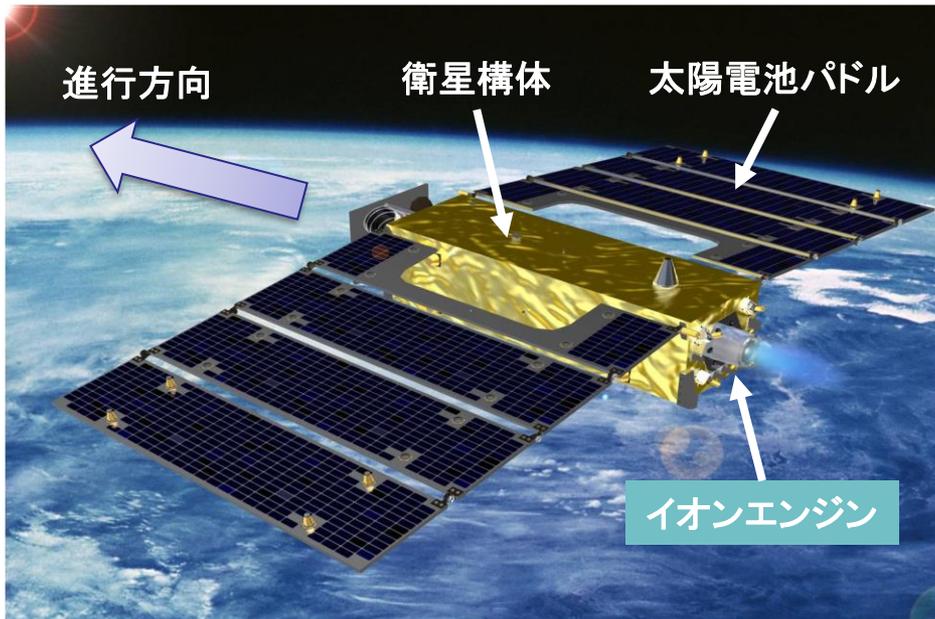
② 大気密度・原子状酸素に関するデータの取得

— 超低高度域での衛星軌道・姿勢の変動データや原子状酸素(AO)のデータを取得し、大気密度モデルの精度向上や超低高度衛星に係る設計基準への反映を行う。

③ 小型高分解能光学センサによる撮像実験

— 超低高度域にて衛星の軌道や姿勢と協調して撮像する実験を行う。

<SLATS外観図>



<SLATS主要諸元>

項目	仕様
主要ミッションセンサ	(1) 小型高分解能光学センサ(SHIROP) (2) 原子状酸素モニタシステム (AMO) (a) AO計測センサ(AOFS) (b) 材料劣化モニタ(MDM)
運用軌道	軌道高度268km～180km
サイズ	2.5 m(X)×5.2 m(Y)×0.9 m(Z) (軌道上展開状態)
質量	400 kg以下
設計寿命	2年以上

～原子状酸素の影響の実際～

ISSで実施した宇宙材料曝露実験の結果



ISS029E-020863

JEM/MPAC&SEED

ISS 259 days(8.5 months)
Exposure (July 2009 – Apr.2010)

Ref. “Protection of Materials and Structures from Space Environment”, edited by Jacob I. Kleiman, Masahito Tagawa, Yugo Kimoto, Astrophysics and Space Science Proceedings Vol.32, 2009.



Black Kapton

曝露前 曝露後

VESL-J-A1



VESL-J-B1



10mm

VESPEL (AOモニタ材料)

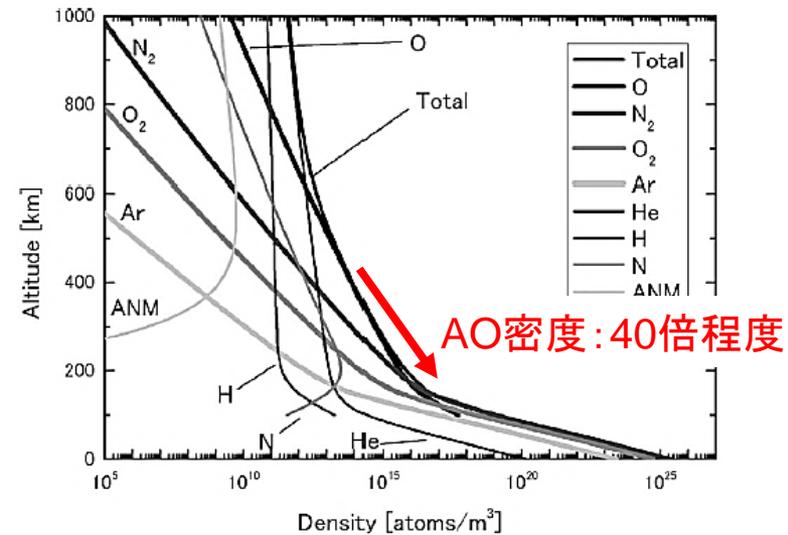


～AMOの目的～



特に、衛星設計上の課題・・・

- a. 従来の低高度軌道に比べ桁違いに多いAO量が想定される。
→材料に対する地上でのAO照射試験は、非現実的な長期試験になり実現困難。
- b. AO環境については、超低高度軌道でのデータを直接観測した例は極めて少ない。
→将来の超低高度軌道で運用される衛星の設計に必要な実測データが必要。



大気成分高度分布 (NRLMSISE-00 モデル)



超低高度で運用する衛星を開発するためには、この軌道のAO環境や、材料が受ける影響を把握し、設計への反映が必要

超低高度 (高度300 km以下) で運用されるSLATSでAO計測と材料曝露実験

↓
AOFS

↓
MDM



～AMO概要～



SLATSに搭載する「原子状酸素モニタシステム」(**A**tomic **O**xxygen **M**onitor: AMO)は、AO環境と材料への影響(エロージョン)を観測するミッションであり、次の2種の機器で構成される。

- 原子状酸素フルエンスセンサ

(**A**tomic **O**xigen **F**luence **S**ensor : AOFS)

→SLATSが運用される軌道のAO環境の計測

- 材料劣化モニタ

(**M**aterial **D**egradation **M**onitor : MDM)

→AOによる材料劣化を軌道上CCDカメラで確認



～AOFS～



TQCMでのAO測定原理

- ◆QCM電極面にポリイミド膜を形成させ、これにAOを照射すると、表面のポリイミド膜はAOとの反応によりガス化し質量が減少。
- ◆この質量変化をQCMを用いて計測し、次式によりポリイミド膜が被曝したAOフルエンスを計算可能。

$$F = \frac{\Delta m}{A \cdot \rho \cdot E_y}$$

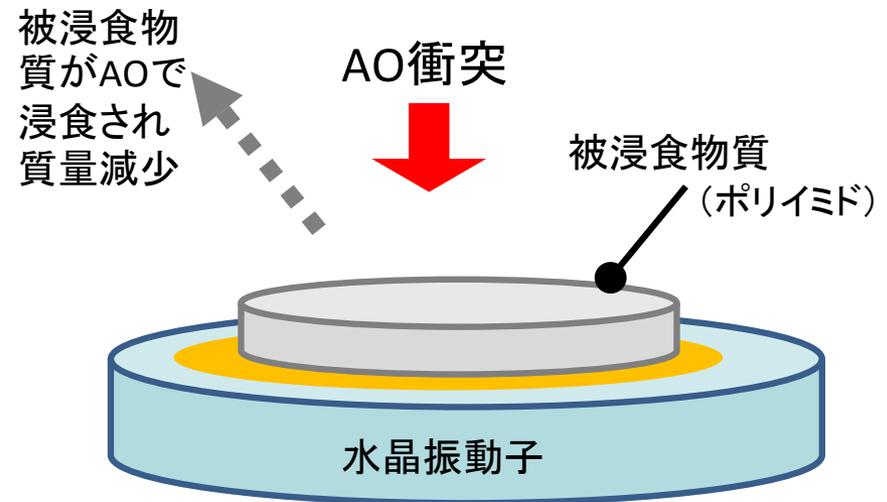
F : AOフルエンス(atoms/cm²)

Δm : 質量減少量(g)

A : 曝露される膜の面積(cm²)

ρ : 材料の密度(g/cm³)

E_y : ポリイミドのAO反応効率(3×10^{-24} cm³/atom)





～AOFS～



衛星の各所に8個のAOFSを搭載

- ・6個のAOFS ⇒ AO量の計測(ポリイミド薄膜付きのセンサ)
- ・2個のAOFS ⇒ コンタミネーション計測

AOFS センサID	センサ 搭載位置	シャッター 有無	目的
AOFS-H1	+Z面		+Z面のAO量計測
AOFS-H2	-Y面		-Y面のAO量計測
AOFS-H3	-X面		-X面のAO量計測
AOFS-H4	構体内		リファレンス
AOFS-H5	MDM-S サンプル面	あり	MDM-S部における AO量計測
AOFS-H6	MDM-S サンプル面		コンタミネーション計測
AOFS-H7	SSU(+X面)	あり	衛星進行方向における AO量計測
AOFS-H8	SSU(+X面)		コンタミネーション計測



～AOFS～

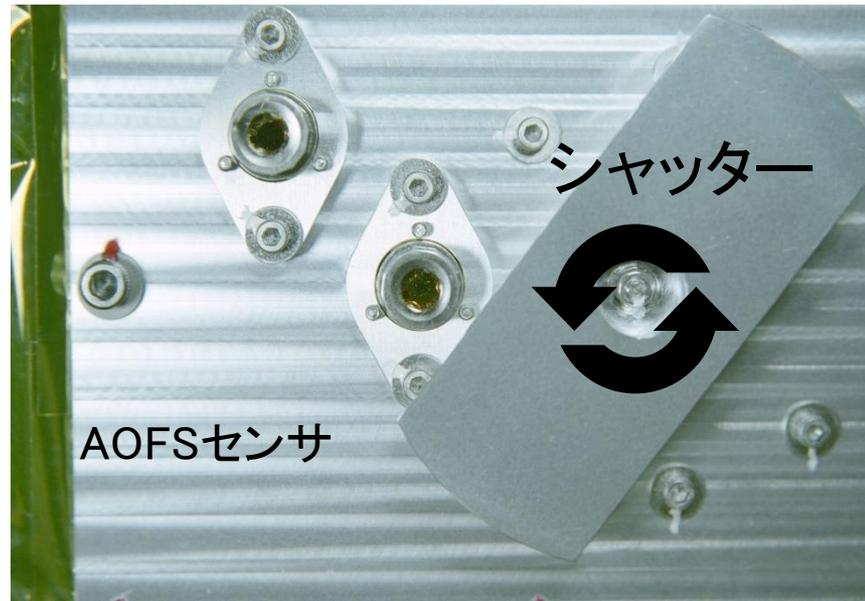


✓ 長期間の測定の実現のため、シャッターシステムを搭載(+Z面)

AOFSは、ポリイミド薄膜の質量損失からAO量を計測

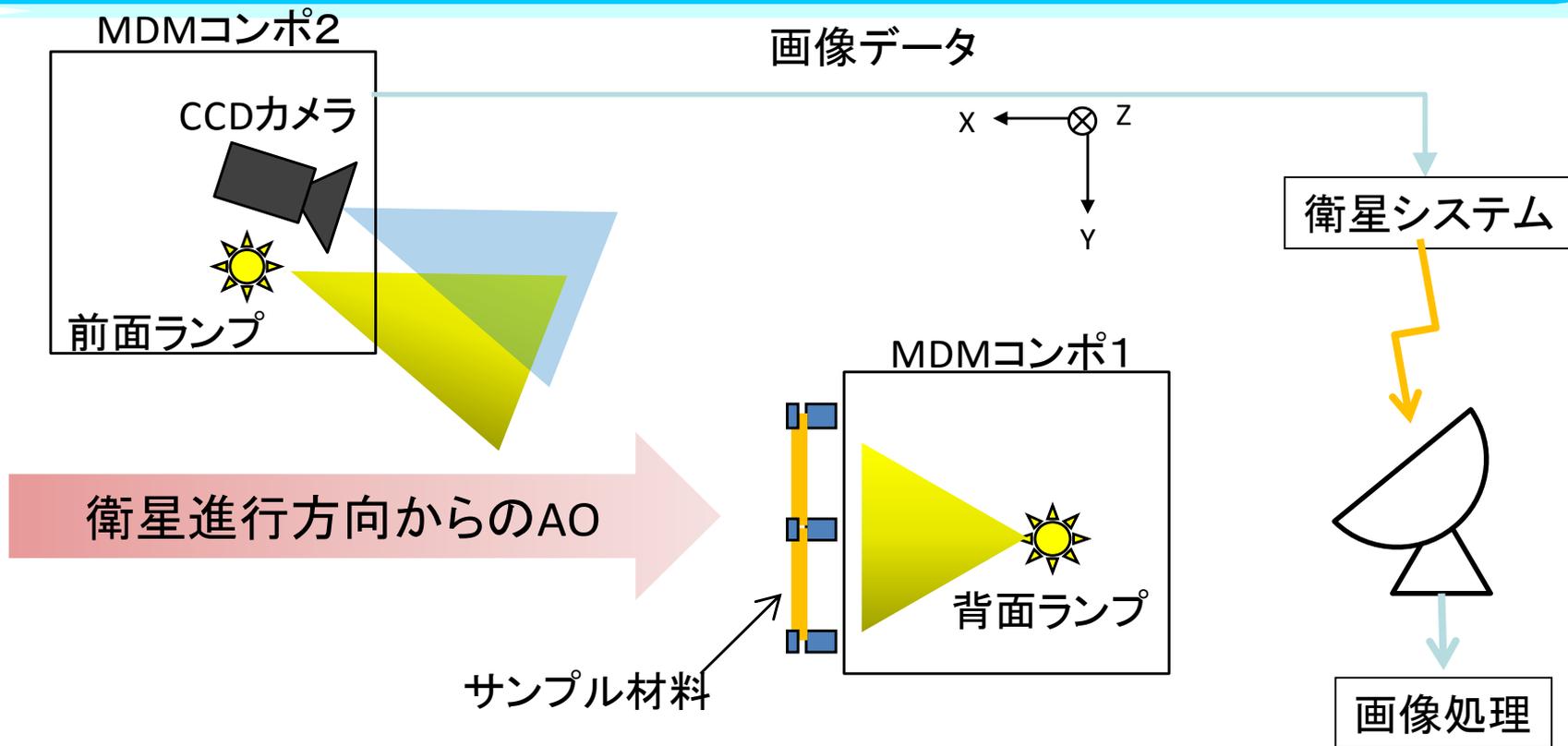
ポリイミド薄膜の残量がセンサ寿命となる

センサ前にシャッターを設け、その開閉により曝露時間を調整することで、
長期間測定を実現





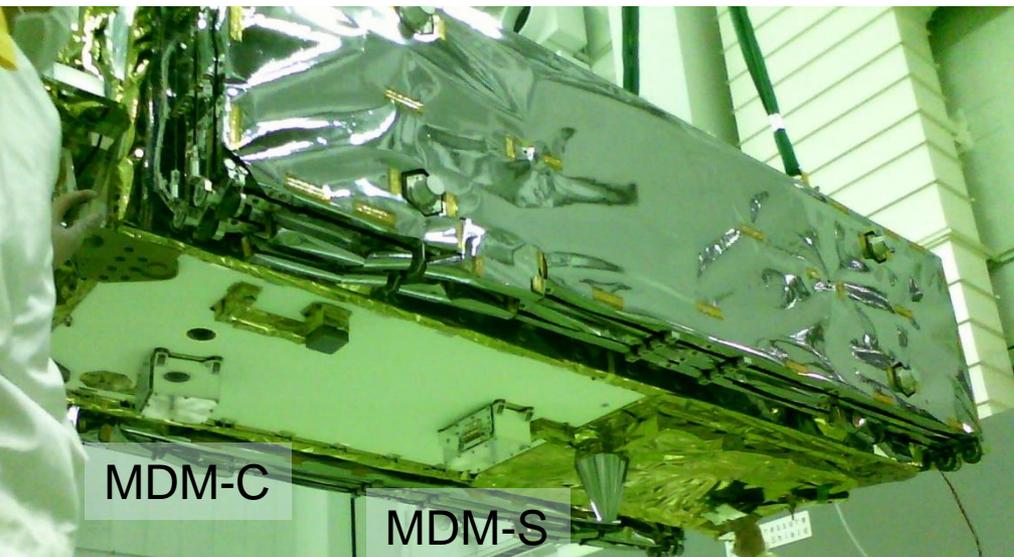
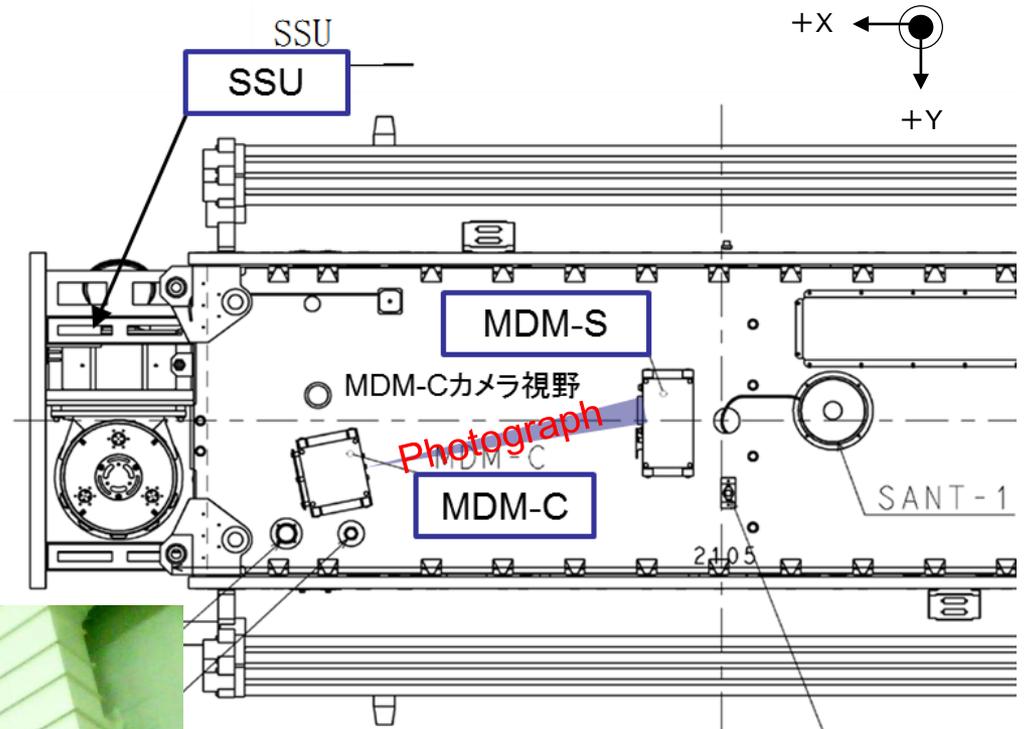
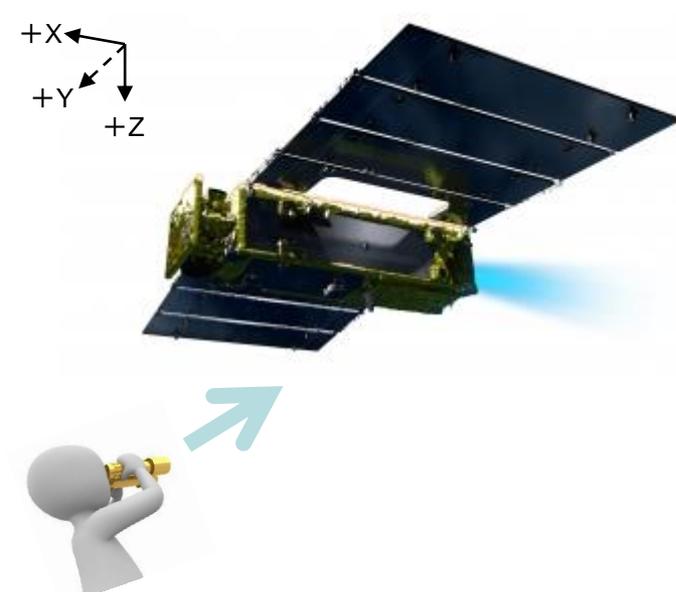
～MDM～



- ✓ AO環境における宇宙用材料の劣化を画像観測によって定性的にモニタリング
- ✓ 13種類のサンプル材料を+X面を向いて、CCDカメラで定期的に撮影
- ✓ 搭載照明を用いることで、安定した照明条件を確保



~MDM~



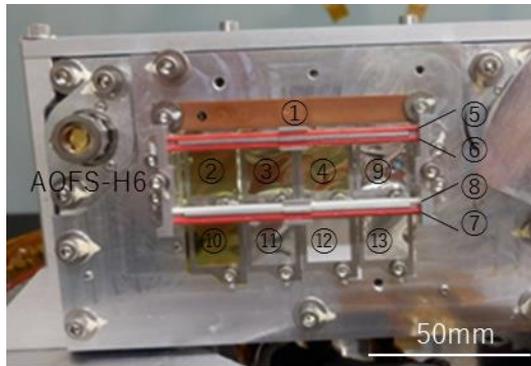
MDMの搭載位置 (+Z面)



～搭載サンプル～



- ・将来の超低高度衛星への搭載が期待されている材料
- ・AOモニタ材により、半定量的にAOフルエンスを取得



MDM-Sサンプル保持部拡大図と各試料の搭載位置(番号)

位置	試料名	用途
①	Vespel®	AO モニタ
②	耐 AO コーティング/ポリイミドフィルム (Apical-AH) /Al ^{a)}	MLI
③	耐 AO 性ポリイミドフィルム (BSF-30)/Al ^{b)}	
④	UV 遮蔽コーティング/耐 AO 性ポリイミドフィルム (BSF-30)/Al ^{a)}	
⑩	ITO コーティング/ポリイミドフィルム (Kapton®)/Al ^{a)}	
⑫	ベータクロス/Al ^{b)}	配線
⑤	Expanded PTFE ケーブル (φ1.18mm)	
⑥	Expanded PTFE ケーブル (φ1.35mm)	
⑦	Expanded PTFE ケーブル (φ1.58mm)	
⑧	ETFE ケーブル	OSR
⑨	FEP フィルム (1 mil)/Ag ^{b)}	
⑪	FEP フィルム (5 mil)/Ag ^{b)}	
⑬	ITO コーティング/FEP フィルム (5 mil)/Ag ^{a)}	

a)コーティング (曝露面)/ベースフィルム/コーティング (裏面)

b)ベースフィルム (曝露面)/コーティング (裏面)



目次



1. SLAT搭載AMOの概要

1. 背景

2. AOFS

3. MDM

2. 打ち上げからの運用状況

3. 初期データ解析結果

4. まとめ



～打ち上げからの運用状況～



- AOFS

- コンタミネーションを回避するため、打上げ直後から、H1, H2, H3, H4, H7, H8の温度を+55°C、H5, H6は+70 °Cに制御
- 打上げ後、高度が下がりつつある環境の中、継続的にデータを取得中

- MDM

- 打上げ後、材料試料保持部温度制御をオンとし、軌道上で約50～60°Cで制御されていることを確認
- 撮像機能(前面LED、背面LED、記録(露出)、再生)の正常動作を確認
- シャッター機能の動作、およびシャッター機能で入射AO量の制御を確認
- 材料劣化状況の撮像(記録、再生)を週1回実行



目次



1. SLAT搭載AMOの概要

1. 背景

2. AOFS

3. MDM

2. 打ち上げからの運用状況

3. 初期データ解析結果

4. まとめ



～初期データ解析結果 AOFS～

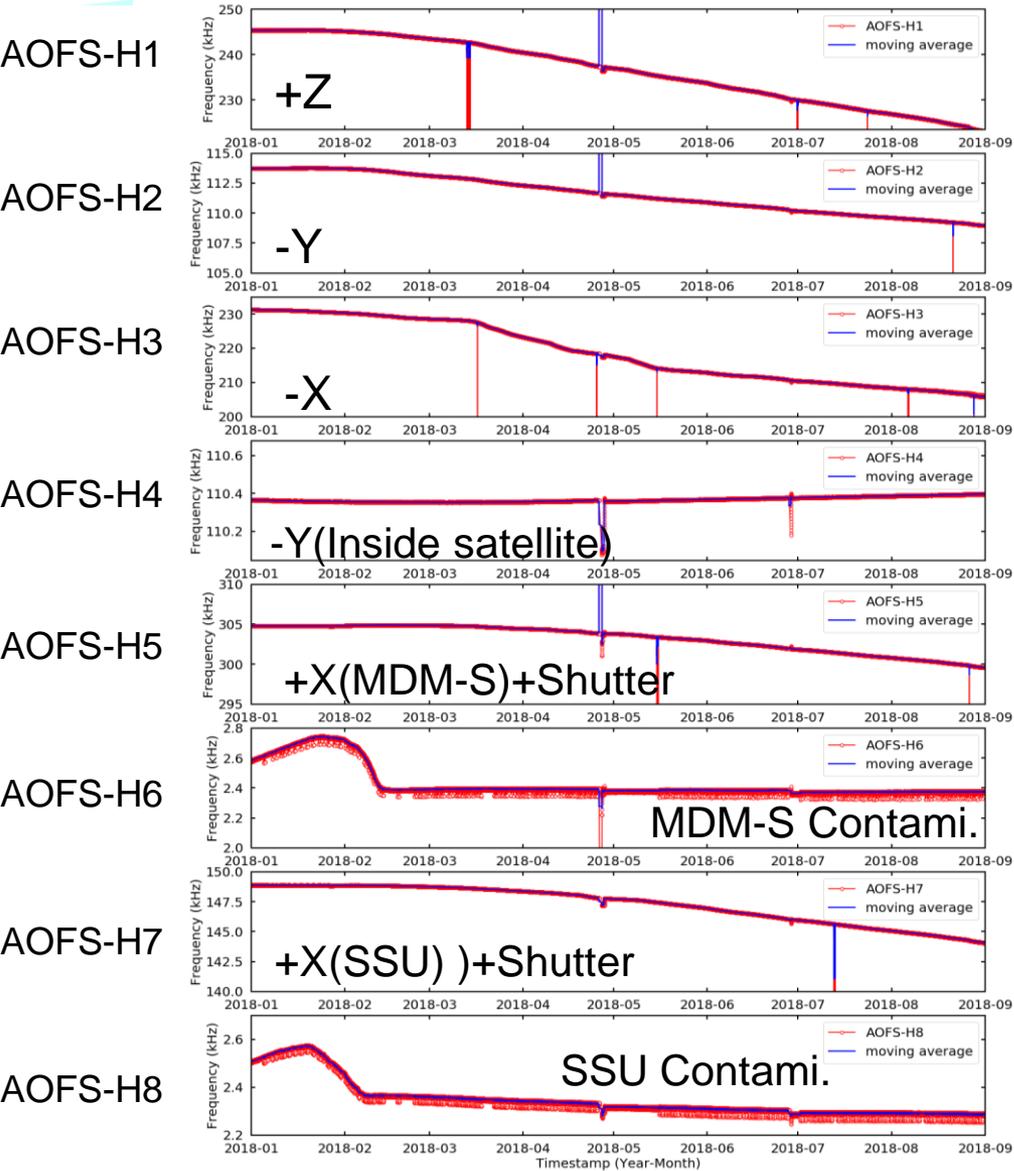


すべてのセンサでAO測定ができており、
センサ寿命も確保できる見込み

・AOFS-H1/H2/H3で出力周波数が減少
⇒各面にAOが衝突し、ポリイミド薄膜のエロージョンが発生

・AOFS-H5とH7のシャッターを2018年5月から1%のOPEN率でシャッターを開けている

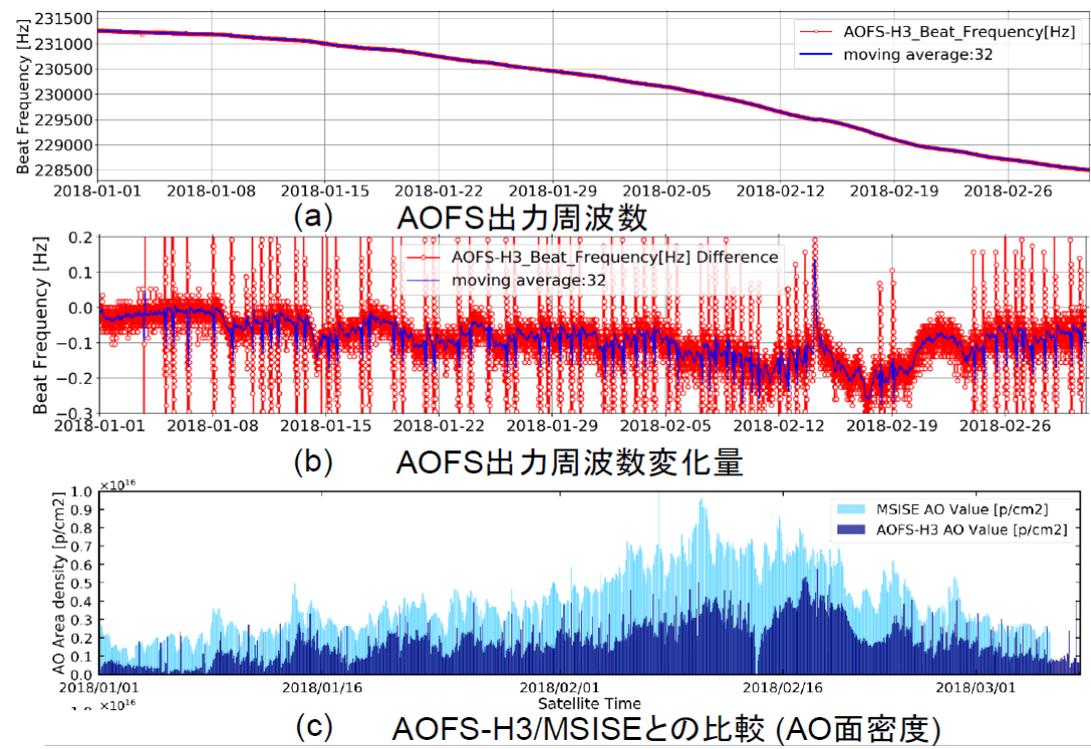
・AOFS-H6/H8で、コンタミネーション付着と
考えられる周波数変化を確認
⇒その後、表面クリーニングが起きた挙動を
確認



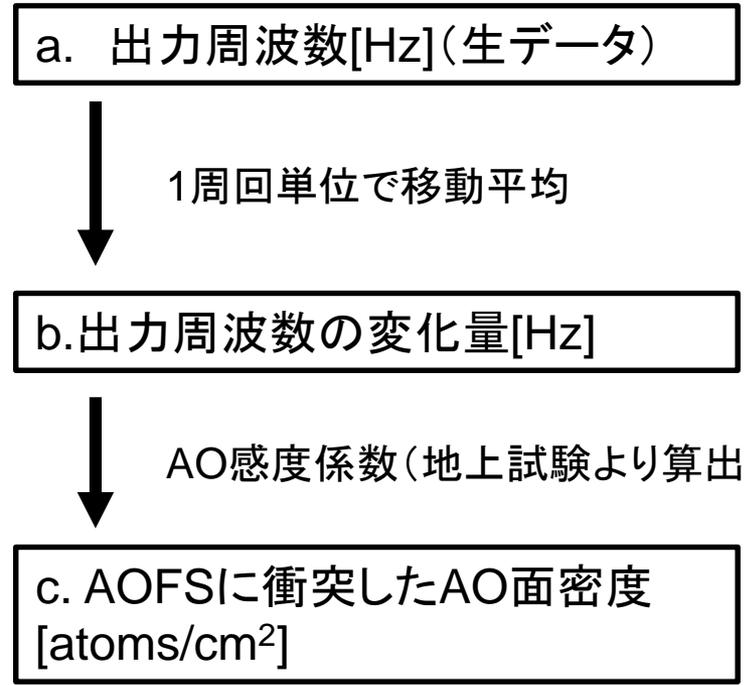
AOFS出力周波数(2018年1月～8月)



～初期データ解析結果 AOFS～



AOFS-H3(2018年1月～3月)



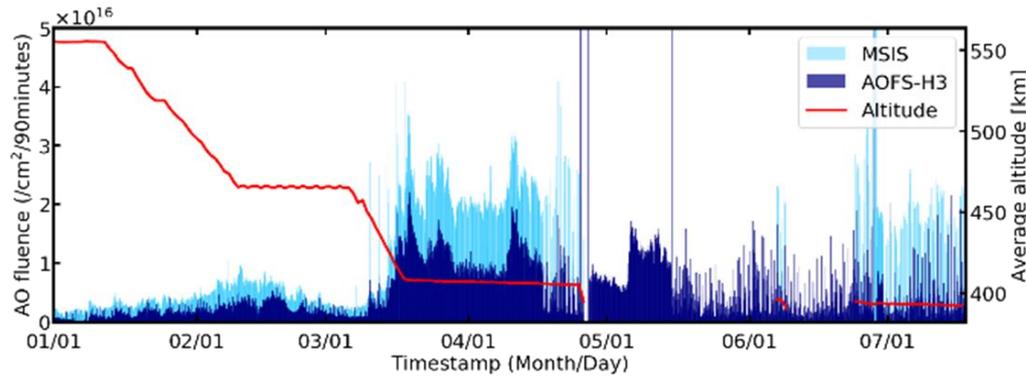
超低高度よりもAO密度が少ない高度約450～550 kmにおいて、1周回単位でAO量の計測を達成



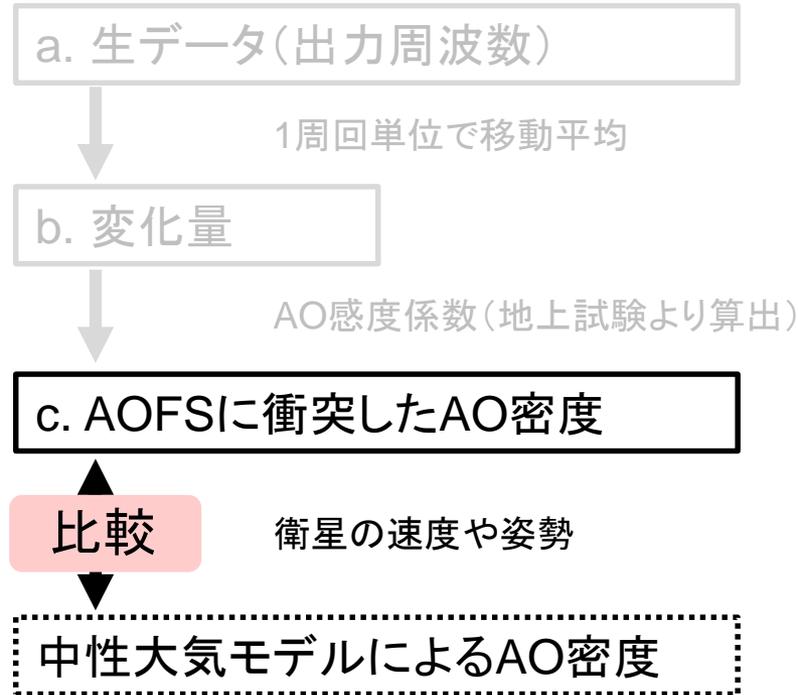
～初期データ解析結果 AOFS～



AOFS-H3



AOフライトデータと予測モデルとの比較及び高度の推移
(2018年1月～7月中旬)
濃色: フライトデータ, 淡色: 予測モデル値、赤色: 高度



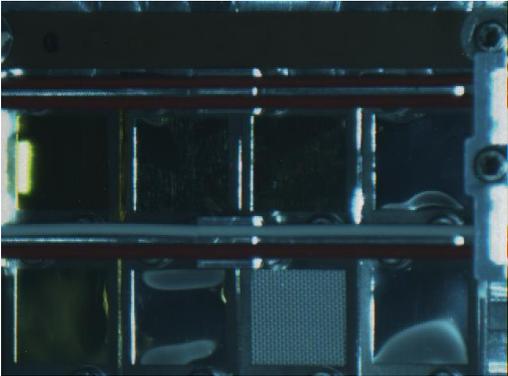
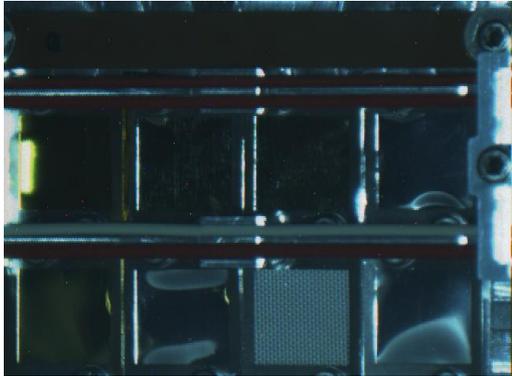
- ✓ AOFSのフライトデータは予測モデルと比較すると、増減の傾向はよく一致
- ✓ 予測モデルの方が、AO密度を過大評価している可能性あり



～初期データ解析結果 MDM～



- ✓ 取得された撮像データの例を下記に示す。7月中旬までのところ、明確な劣化は見られない
- ✓ 材料劣化評価には引き続き長期間のデータ取得が必要
- ✓ 軌道上における画像による長期的材料劣化の評価は例が無く、世界初となることが期待

	2018年1月5日撮影	2018年7月18日撮影
正面光による照明		
背面光による照明		



目次



1. SLAT搭載AMOの概要
 1. 背景
 2. AOFS
 3. MDM
2. 打ち上げからの運用状況
3. 初期データ解析結果
4. まとめ



～まとめ～



- ✓ AMOミッションは打上げ直後、2017年12月末から始まった。
AOFS、MDM共に問題なく、データを取得中
- ✓ 現時点における、予測モデルとフライトデータで差がみられ、
予測モデルがAO量を過大評価している可能性あり
- ✓ 現時点のMDM画像から、明らかな材料劣化は観察されていない
- ✓ 材料劣化評価に有用なデータにするためには、
長期間データを取得する必要があるため、引き続き観測を継続