

宇宙航空研究開発機構研究開発資料

JAXA Research and Development Memorandum

ひので光学望遠鏡の汚染解析評価

矢野 敬一, 馬場 尚子, 浦山 文隆, 渡辺 吉男

2008年2月

宇宙航空研究開発機構

Japan Aerospace Exploration Agency

目次

1. はじめに	1
2. 概要	2
2.1 目的	2
2.2 実施内容	2
3. 研究開発の成果	3
3.1 汚染環境解析・評価	3
3.1.1 アウトガスモデルの作成	3
3.1.1.1 真空チャンバ A に係るアウトガスモデルの作成	3
3.1.1.2 真空チャンバ B,C に係るアウトガスモデルの作成	6
3.1.2 アウトガス汚染環境解析・評価	9
3.1.2.1 SOLAR-B 形状モデルの作成	9
3.1.2.2 OTA クリティカル面の汚染付着係数	9
3.1.2.3 主鏡・副鏡・排熱鏡の寿命評価	10
3.2 初期フライトデータによる汚染評価	15
3.2.1 運用データの分析	15
3.2.2 解析結果の評価	22
4. 成果のまとめ	24
5. 課題	24
6. 謝辞	24
参考文献	24

ひので光学望遠鏡の汚染解析評価*

矢野 敬一^{*1}, 馬場 尚子^{*1}, 浦山 文隆^{*2}, 渡辺 吉男^{*2}

Contamination Analysis Evaluation of Hinode Optical Telescope Assembly*

Keiichi YANO^{*1}, Naoko BABA^{*1}, Fumitaka URAYAMA^{*2}, Yoshio WATANABE^{*2}

Abstract

Outgassed molecular contaminants, which are emitted from a spacecraft and which can subsequently deposit on sensitive surfaces, might impart adverse effects on sensor performance and thermal characteristics. We evaluated the contamination environment of the optical telescope assembly (OTA) onboard the SOLAR-B spacecraft. Especially, the primary and secondary mirrors were evaluated along with a collimating lens unit (CLU) for elucidation of the contamination environment. The calculated results satisfied the SOLAR-B project's requirements. After the SOLAR-B was launched on 22 September 2006 UT, telemetry data of the OTA became available. As the temperature of the Heat Dump Mirror (HDM) rose above the expected levels, the primary and secondary mirror, and the HDM were evaluated for molecular contaminants accumulation and the solar absorptance.

Analytical results of both primary and secondary mirror were roughly corresponding to demand value of SOLAR-B project. For the HDM analytical results of the solar absorptance were less than a result of telemetry data conversion.

Keywords: Contamination, Hinode, SOLAR-B

1. はじめに

宇宙機の機器に使用される材料から放出されるアウトガスの影響が懸念されており、高精度を要求される光学機器では、宇宙機ミッション期間でのアウトガス付着量の要求値は厳しくなっている。2006年9月23日(JST)に打上げられた太陽観測衛星ひので(SOLAR-B)は、可視光磁場望遠鏡、X線望遠鏡、極端紫外線撮像分光装置を搭載しており、設計から軌道上運用まで汚染管理が徹底されている。

可視光磁場望遠鏡の望遠鏡部(OTA: Optical Telescope Assembly)は、図1-1に示すような主鏡(Primary Mirror)、副鏡(Secondary Mirror)、コリメータレンズユニット(CLU: Collimating lens unit)、排熱鏡(HDM: Heat Dump Mirror)等で構成されている。可視光磁場望遠鏡は太陽観測のために常に太陽方向を向いており、太陽光が図1-1の上部から入射し、主鏡で反射され、不要な太陽光を衛星外に排出するための排熱鏡を経て副鏡に到達し、CLUの後方にある観測装置でデータ測定を行う。特に主鏡、副鏡、及びCLUの表面に汚染分子が堆積することで、太陽光吸収率が増加し、熱による鏡の変形が原因で観測データの劣化が引き起こされる。この主鏡等への汚染分子の付着によるデータ劣化が許容範囲内であることを検証するため、OTA内の汚染解析により得られた結果を用いて鏡面のコンタミネーション評価を行った。

本資料では、汚染解析結果及びテレメトリデータの分析結果から求めた太陽光吸収率変化量を比較・評価することにより予測解析の妥当性について報告する。

* 平成20年1月8日受付 (Received 8 January, 2008)

*1 総合技術研究本部 部品・材料・機構技術グループ (Electronic, Mechanical Components and Materials Engineering Group, Institute of Aerospace Technology)

*2 宇宙技術開発株式会社 (Space Engineering Development Co., Ltd.)

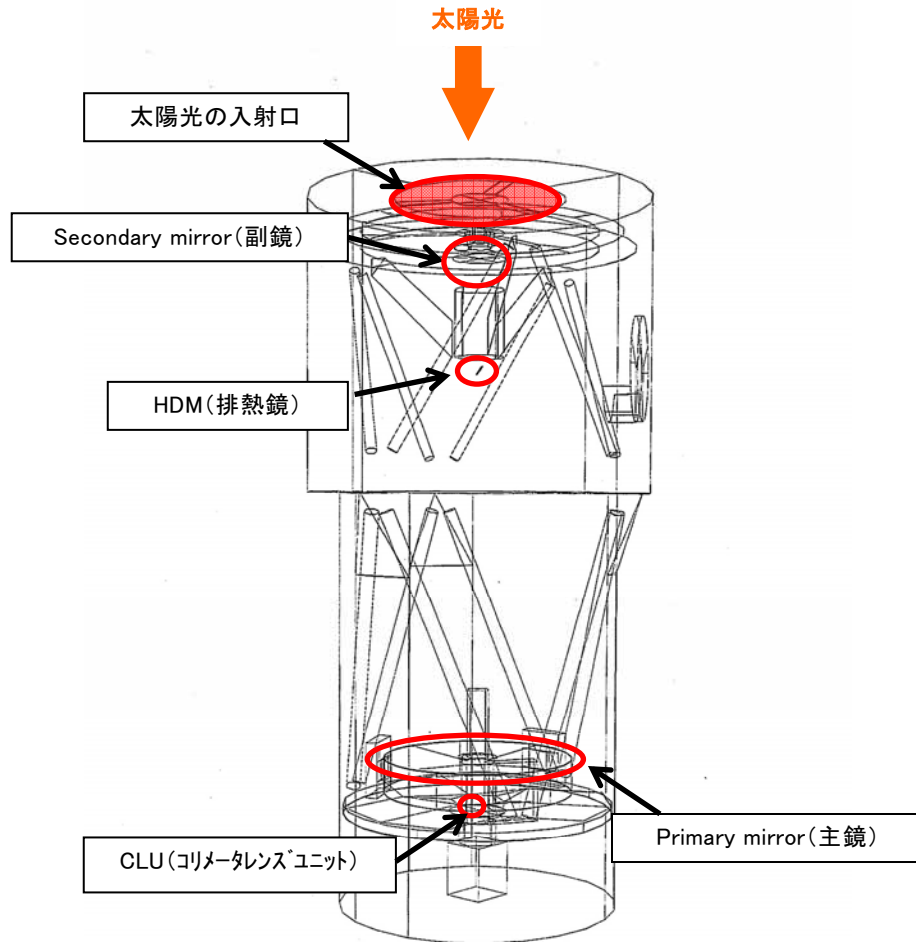


図 1-1 OTA の形状モデル

2. 概要

2.1 目的

本研究は、これまで開発を行ってきた汚染解析ソフトウェア(J-SPICE: Japanese Spacecraft Induced Contamination Environment Analysis Software)を使用して軌道上における OTA 内の汚染解析結果及びテレメトリデータの分析結果から求めた太陽光吸収率変化量の比較・評価によって、解析結果の妥当性を検証することを目的に実施した。

この研究は平成 17 年度より実施しており平成 17 年度(参考文献[1])は、OTA 内で使用されている材料のアウトガスレートを TQCM(Thermoelectric Quartz Crystal Microbalance)で測定したデータを用いて、データ劣化に繋がる鏡面やレンズ表面の汚染付着について予測解析を行った。この解析により得られた結果は、プロジェクトの要求値を満足する結果となった。

平成 18 年度(参考文献[2])は、光学望遠鏡に関する各コンポーネントのベーキング時に取得したアウトガスレート測定データを基に OTA の主鏡、副鏡等の汚染付着量解析を行い、太陽光吸収率変化量に換算した。また、OTA テレメトリデータ(温度データ)を基に太陽光吸収率変化量を求め、解析結果との比較・評価を実施した。

2.2 実施内容

(1) 汚染環境解析・評価

- (a) OTA内のクリティカル面（主鏡、副鏡、CLU、排熱鏡）の汚染付着解析を実施した。
- (b) 上記(a)の解析結果に基づき、主鏡、副鏡及び排熱鏡の太陽光吸収率の変化プロファイル計算による寿命評価を実施した。

(2) 初期テレメトリデータによる汚染評価

(a) 運用データの分析

SOLAR-B汚染評価に必要なOTAテレメトリデータ（温度データ）の分析を実施した。

(b) 解析結果の評価

解析結果とテレメトリデータを基にして求めた太陽光吸収率変化量を OTA 寿命評価の指標として比較・評価を実施した。

3. 研究開発の成果

3.1 汚染環境解析・評価

3.1.1 アウトガスモデルの作成

OTA 汚染解析の入力データとして必要な各材料から放出するガスのモデル化を行う必要があるが、全ての材料について個々にモデル化を行うことは時間やコストの面から適切ではない。そこで各コンポーネントにおいてアウトガス低減のために行われたベーキングで取得した TQCM 振動数変化量を用いることにより、ほぼ全ての材料を考慮したアウトガスモデルを作成する方法を採用した。このモデル化の際に真空チャンバ形状モデルを用いてコンポーネントから放出されたガス量と TQCM に付着した単位面積当りの汚染分子量の比を求め、コンポーネントから放出されたアウトガスのモデルを作成した。また、コンポーネントのベーキングにはサイズに応じて、容積の異なる3種類の真空チャンバ A, B, C を用いており、これらの真空チャンバ形状モデルをアウトガスのモデル化に利用した。

3.1.1.1 真空チャンバ A に係るアウトガスモデルの作成

図 3-1 に示した真空チャンバ A の形状モデルの作成を行い、表 3-1 に示す OTA の各コンポーネントについてアウトガスモデルを作成した。

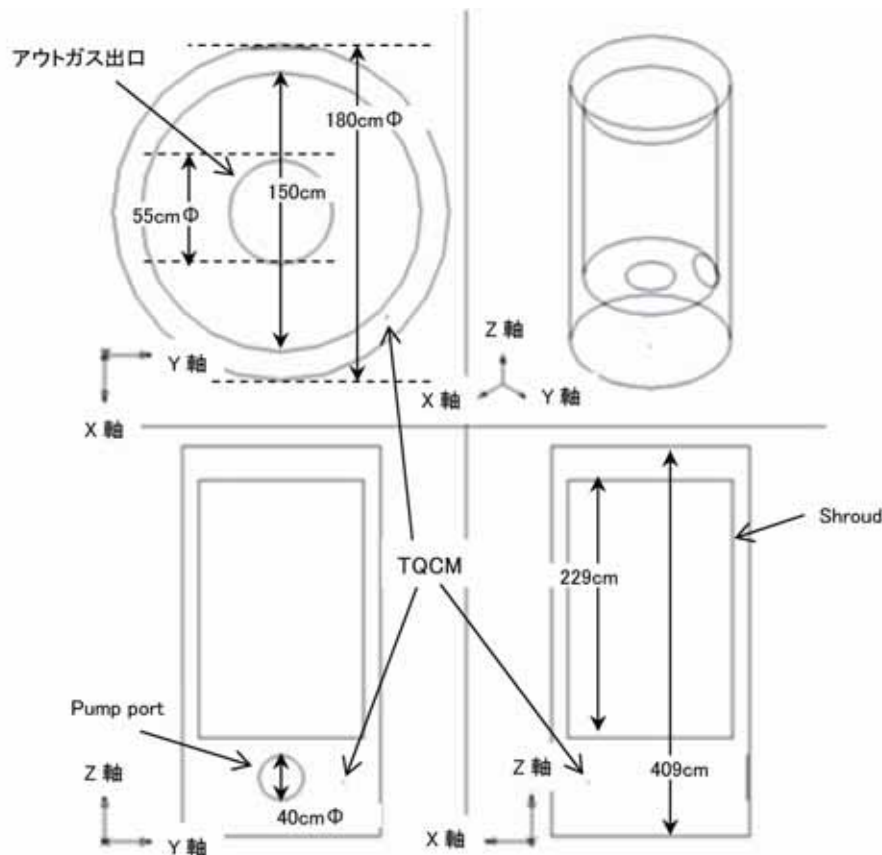


図 3-1 真空チャンバ A の形状モデル

表 3-1 ベーキングを行った OTA コンポーネント一覧

No.	コンポーネント名	真空チャンバ	ベーキング温度[°C]	図3-4に対応する形状名
1	CFRP構体	A	39	Ring Plate Top Ring Center Section Mirror Cell Upper Truss Lower Truss
2	Harness CFRP	A	50	Ring Plate Top Ring Center Section Mirror Cell Upper Truss Lower Truss HDM Spider
	ST			Thermal Shield Tube(TST)
	LT			Side Cooling Palte
	CTM			CTM-TM Support
3	Lower tube/Bottom cover	A	60	Side Cooling Plate(SCP) Bottom Cover(BC)
4	MLI	A	60	Thermal Shield Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP) Bottom Cover(BC)
5	Sun shade/Shield tube	A	29	Sun Shade Thermal Shield Tube(TST)
6	Top/Side door	B	59	Top Door Side Door
7	HKU sensor(M1/M2)	C	50	Bottom Cooling Plate(BCP) M2 Support
8	M1 Support	C	31	M1 Support
9	M2 Heater Plate	C	70	M2 Heater Plate
10	GFRP washers(M2 Heater Plate)	C	60	M2 Heater Plate
11	HDM Spider	C	28	HDM Spider
12	Bottom Cooling Plate	C	51	Bottom Cooling Plate(BCP)
13	HKU sensor(CLU/CTM/M2)	C	45	CLU Support CTM-TM Support M2 Support
14	Bottom Cover Center Plate	C	60	Bottom Cover(BC)
15	Heat Shrinkage Tube	C	50	Ring Plate Top Ring Center Section Mirror Cell Upper Truss Lower Truss HDM Spider Thermal Shield Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP) CTM-TM Support
16	Tape lacing	C	50	Ring Plate Top Ring Center Section Mirror Cell Upper Truss Lower Truss HDM Spider Thermal Shield Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP) CTM-TM Support
17	HKU sensor(23pieces)	C	45	Thermal Shied Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP)
18	HDM Cylinder	C	42	HDM
19	Cable Tie	C	45	Ring Plate Top Ring Center Section Mirror Cell Upper Truss Lower Truss HDM Spider Thermal Shield Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP) CTM-TM Support
20	HKU sensor(4pieces)	C	45	Thermal Shied Tube(TST) Side Cooling Plate(SCP)
21	Shield Tube Connector Panel	C	22	Thermal Shied Tube(TST)
22	Shield Tube/Sun Shade	C	29	Thermal Shied Tube(TST) Sun Shade
23	M1 Pad/M1 Support Interface	C	50	M1 Pad M1 Support Interface

真空チャンバ A でベーキングされた表 3-1 に示した OTA コンポーネントを対象としてアウトガスモデル(べき乗モデル)の作成を行った。

ここでは CFRP 構体のベーキング時取得データを用いたモデル化の手順を以下に示す。

- ① ベーキング時の TQCM 振動数データを付着量[g/cm^2]に換算する。

$$m(t) = \frac{F(t)}{3600} \cdot \frac{1}{S_{QCM}}$$

m : TQCM での付着量[g/cm^2]

F : TQCM 振動数 [Hz]

S_{QCM} : TQCM 感度係数 ($=5.09 \times 10^8 [\text{Hz} \cdot \text{cm}^2/\text{g}]$)

- ② 最小二乗法により次に示すべき乗モデル定数 a, b, c の推定を行う。

$$m(t) = a \cdot t^b + c$$

m : TQCM の付着量[g/cm^2]

t : 時間[sec]

- ③ 真空チャンバ A 形状や CFRP 構体を用いてアウトガスモデルに変換する。

$$M_{Component}(t) = m(t) \cdot \left(A_{Hole} / A_{Component} \right) \cdot (1/\kappa_{A1}) = a' \cdot t^b + c'$$

$M_{Component}$: アウトガス量[g/cm^2]

A_{Hole} : シュラウド開口の面積[cm^2]

$a' = a \cdot \left(A_{Hole} / A_{Component} \right) \cdot (1/\kappa_{A1})$: アウトガスモデル定数[$\text{g}/\text{cm}^2/\text{sec}^b$]

$c' = c \cdot \left(A_{Hole} / A_{Component} \right) \cdot (1/\kappa_{A1})$: アウトガスモデル定数

$A_{Component}$: CFRP 構体の表面積 ($=32854\text{cm}^2$)

κ_{A1} : シュラウド開口からのアウトガスレートを 1 としたときの TQCM への付着レート ($=9.42$)

- ④ 任意期間のアウトガス量を計算する。

$$\Delta M_{Component} = a' \cdot \left[(t_2 + t_0)^b - (t_1 + t_0)^b \right]$$

t_1, t_2 : SOLAR-B 打上げからの経過時間[sec]

t_0 : 外挿開始時間(ベーキング終了時間) [sec]

3.1.1.2 真空チャンバ B, C に係るアウトガスモデルの作成

図 3-2, 3-3 に示した真空チャンバ B, C で行ったコンポーネント(表 3-1)について、それぞれのチャンバ形状を用いてアウトガスモデル化を行った。このとき、コンポーネントを直径 10cm の球と仮定した。

参考文献[3]より固体内部からのガス分子の拡散が伴う場合の放出速度は $1/\sqrt{t}$ に比例することが知られているため、次式のアウトガスモデルを使用した。

$$\dot{M}_{Component}(t) = a/\sqrt{t}$$

$$a = \dot{m}(t_2) \cdot \frac{\chi}{A_{Component}} \sqrt{t_2}$$

$\dot{M}_{Component}$: コンポーネントのアウトガスレート [$\text{g}/\text{cm}^2/\text{sec}$]

\dot{m} : TQCM への付着レート [$\text{g}/\text{cm}^2/\text{sec}$]

$A_{Component}$: コンポーネントの表面積 [cm^2]

A_{Hole} : シュラウド開口の面積 [cm^2]

κ_{A1} : シュラウド開口からのアウトガスレートを 1 としたときの TQCM への付着レート

t_2 : ベーキング期間 [sec]

χ : アウトガスレートへの換算係数

真空チャンバ B ; 86.1 [cm^2]

真空チャンバ C ; 14.5 [cm^2]

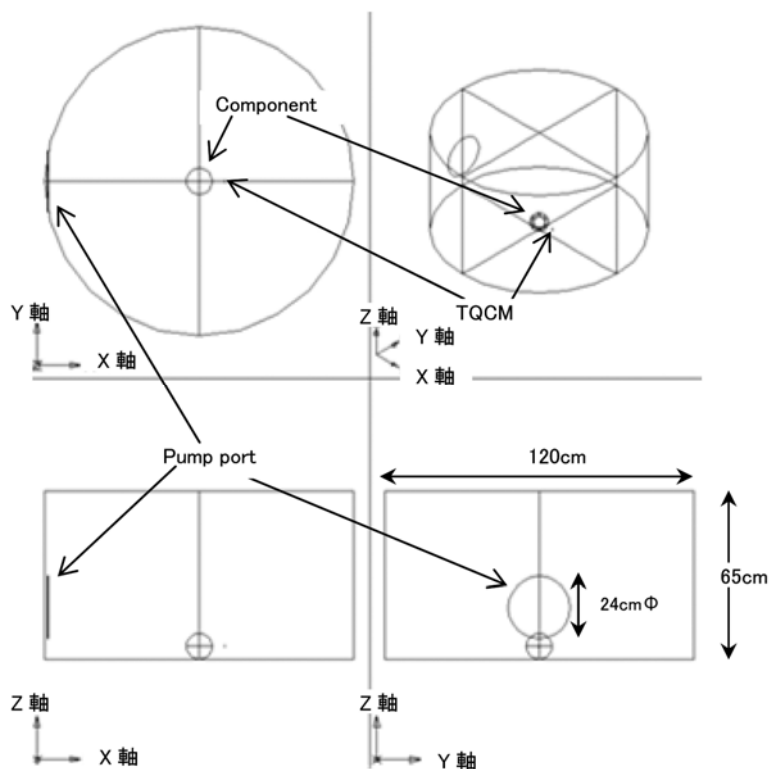


図 3-2 真空チャンバ B の形状モデル

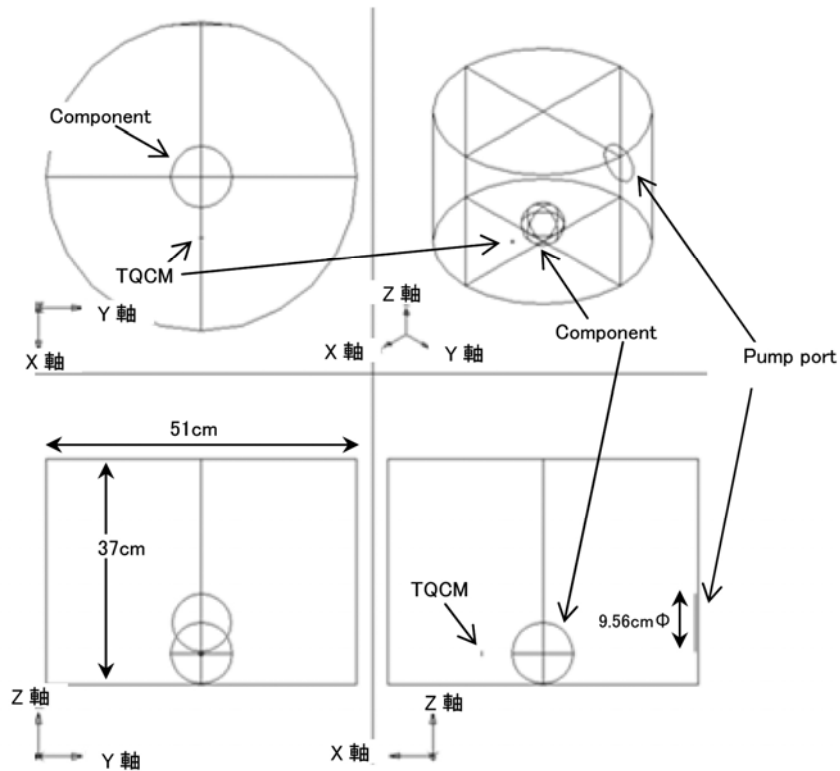


図 3-3 真空チャンバ C の形状モデル

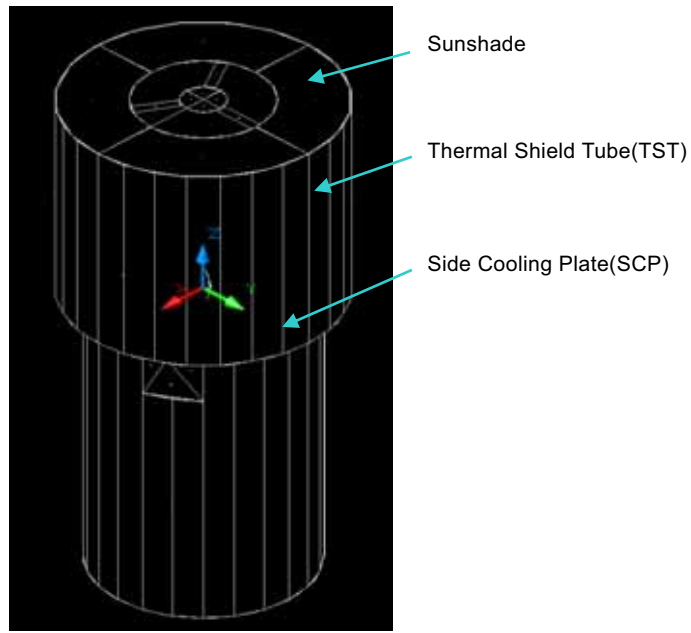
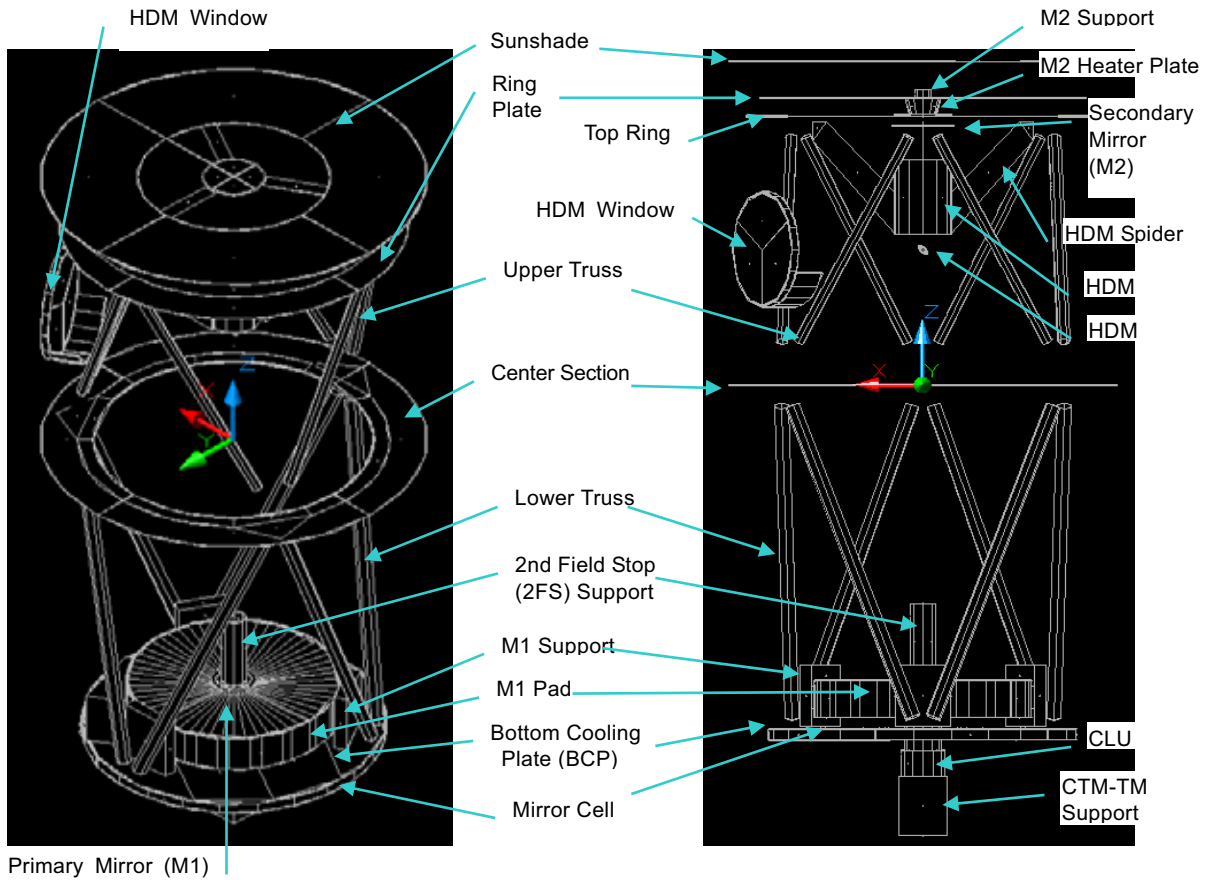


図 3-4(1/2) OTA 形状モデル (外部)



Primary Mirror (M1)

図 3-4(2/2) OTA 形状モデル (内部)

3.1.2 アウトガス汚染解析環境解析・評価

3.1.2.1 SOLAR-B 形状モデルの作成

汚染解析を行うために図 3-4 に示したような OTA 形状モデルを作成した。また、表 3-1 には、各コンポーネントに対応する図 3-4 の形状名を示した。

3.1.2.2 OTA クリティカル面の汚染付着係数

温度が比較的高い場合でも紫外線による光重合によって汚染分子が付着することが知られている。OTA 内部の鏡面はこのような環境下であり、米国 Aerospace 社が提案している以下の数学モデル(参考文献[4])を使用し、各鏡面での反射率及び集光度から光子数を計算した上で副鏡及び CLU レンズでの汚染分子の付着係数を算出した。各クリティカル面(主鏡, 副鏡, CLU, 排熱鏡)の付着係数 e を表 3-2 に示す。この計算でのモデル物質は、テトラメチル・テトラフェニル・トリシロキサン(DC704)を使用した。

$$e^{-1} = \frac{k_2 + k_3 q I_0}{k_3 q I_0 P_0} + \frac{F_C}{k_3 q I_0 S_0}$$

k_2 : 蒸発速度定数 = $A \cdot \exp(-E/RT)$

A : 定数 (= 3.95×10^{10} [1/sec])

E : 脱離エネルギー (= 7.71×10^4 [J/mol])

R : 気体定数 (= 8.314 [J/K/mol])

T : 被汚染面温度 [deg K]

$k_3 q$: 光化学反応有効断面積 (= 7.5×10^{-16} [cm²])

I_0 : 光子数 (= 6.9×10^{12} [1/cm²/sec]; Xe ランプ)

P_0 : 清浄な表面に対する付着係数 (=1)

F_C : 分子の入射フラックス (= 1.4×10^{10} [1/cm²/sec])

S_0 : 単位面積当たりの分子数 (= 6.8×10^{11} [1/cm²])

3.1.2.3 主鏡・副鏡・排熱鏡の寿命評価

表 3-2 の解析条件を用いて解析した汚染付着厚プロファイル（図 3-5、図 3-6）から主鏡、副鏡及び排熱鏡の太陽光吸収率変化量 $\Delta\alpha_S$ プロファイルを計算し、寿命評価を行った。図 3-7~11 に各鏡面の太陽光吸収率変化量プロファイルを示す。また、図 3-12 に汚染分子付着厚と太陽光吸収率変化量の関係を示す。評価方法は次の通りである。

- ① 以下のモデル式(参考文献[5])を用いて、汚染分子付着厚から太陽光吸収率 $\alpha^\chi(t)$ へ換算した。

$$\alpha^\chi(t) = \frac{\int [1 - \rho(\lambda) \cdot \exp(-2\alpha_C(\lambda) \cdot \chi(t))] \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int S(\lambda) d\lambda}$$

$$\Delta\alpha_S(t) = \alpha^\chi(t) - \alpha^0$$

λ : 波長[μm]

ρ : 清浄な状態での主鏡または副鏡の反射率スペクトル

α_C : アウトガスモデル物質(表 3.1.2.3-1)の吸収係数[μm^{-1}]

S : 太陽光スペクトル[$\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$]

χ : 汚染分子付着厚[μm]

- ② プロジェクトの要求値である主鏡及び副鏡の太陽光吸収率(BOL/EOL)の差 0.05 と上記算出結果を比較し、寿命評価を行った。なお、BOL は Beginning Of Life (寿命初期)、EOL は End Of Life(寿命末期)を示している。

表 3-2 主要な解析条件

項目		条件
解析対象期間		トップドア展開(打上げ後 32 日後; 2006/10/25 UT)以降 3 年間
汚染源	温度	軌道上最高温度+10°C(ベーキング温度; 表 3-1)
	アウトガスモデル	時間の関数(3.1.1 項)
輸送	輸送モデル	<ul style="list-style-type: none"> ・直接フラックス 汚染源から被汚染面に汚染分子が直接付着する ・多重反射 汚染分子が反射を繰り返して被汚染面に付着する
付着	付着係数 (3.1.2.2 項)	主鏡: 0.2 副鏡: 0.015 排熱鏡: 0.996 CLU: 0.4
太陽光吸収率変化量		以下のモデル物質の吸収係数を用いて汚染付着厚から算出 Squalene(脂肪族炭化水素) DEHP(フタル酸ジエチルヘキシル) DC704(テトラメチル・テトラフェニル・トリシロキサン) Average(Squalene, DEHP, DC704, Bisphenol の平均値)

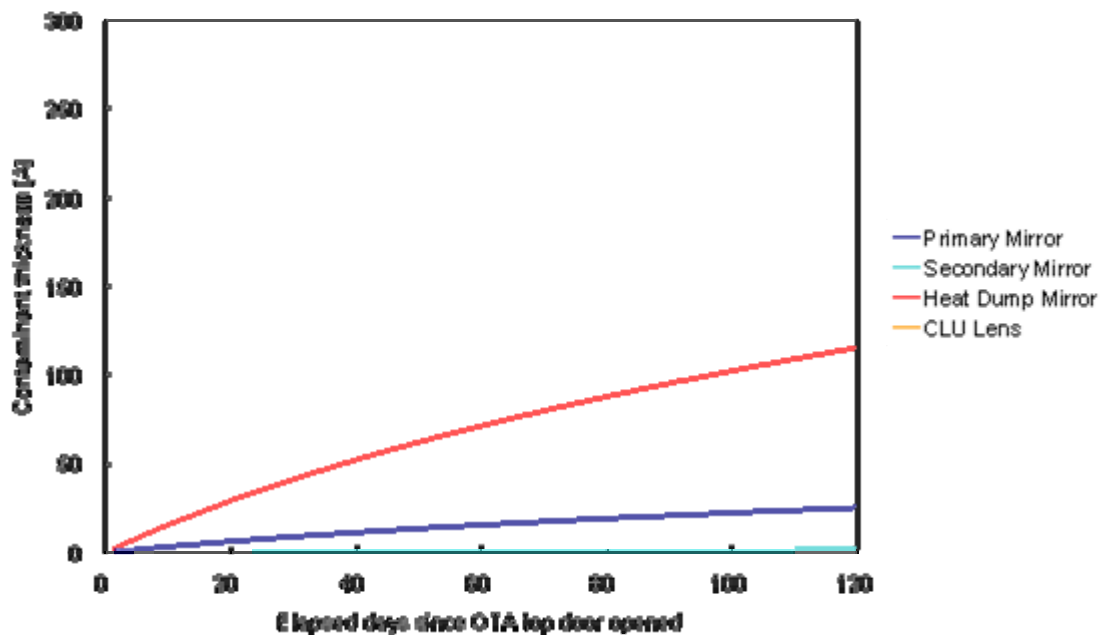


図 3-5 トップドア展開から 120 日間の汚染分子付着厚プロファイル (解析結果)

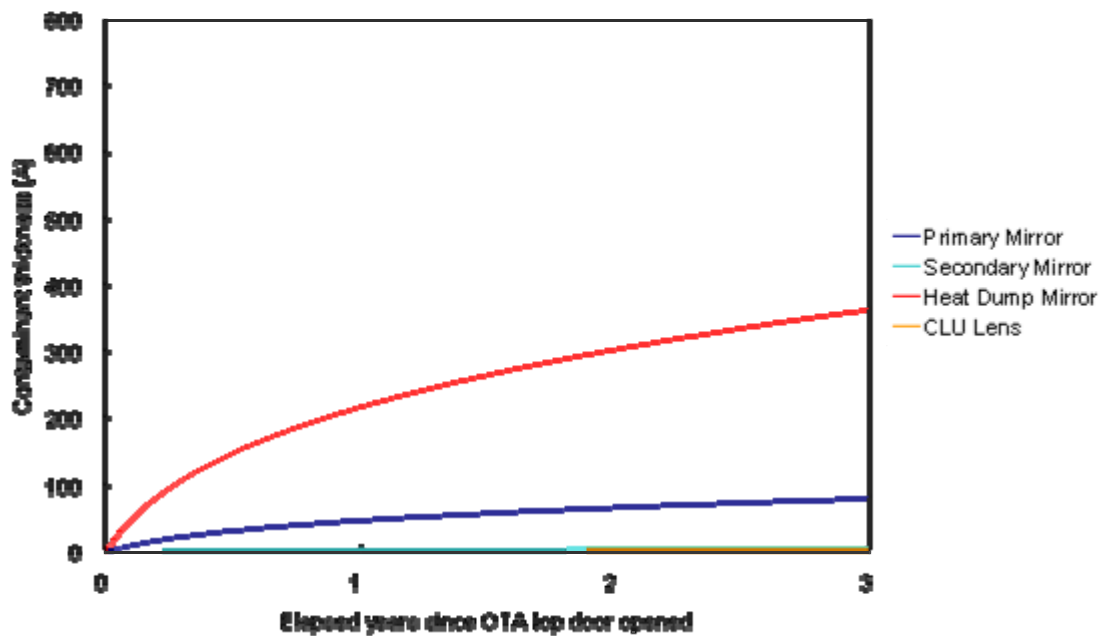


図 3-6 トップドア展開から 3 年間の汚染分子付着厚プロファイル (解析結果)

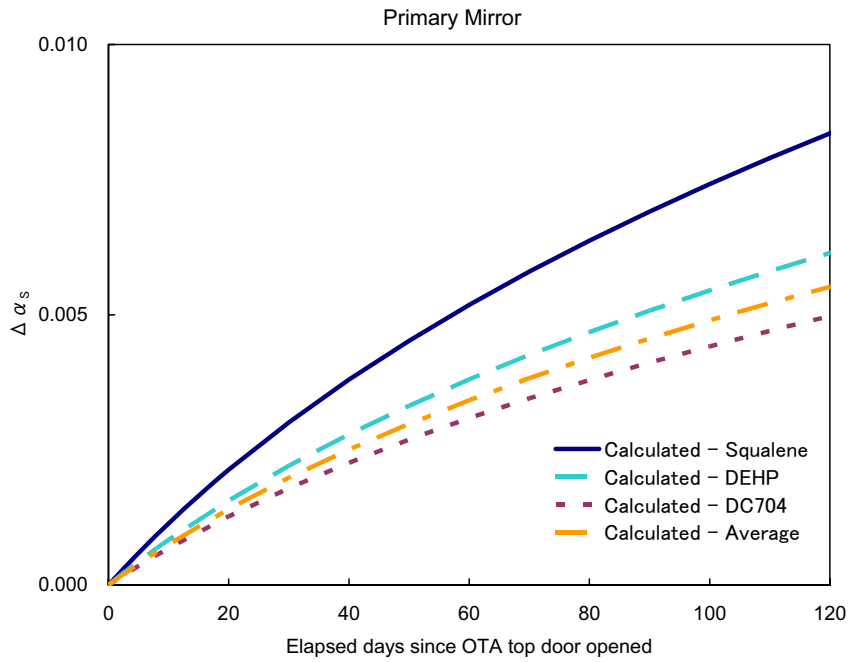


図 3-7 主鏡の太陽光吸収率変化量プロファイル (解析結果;120 日間)

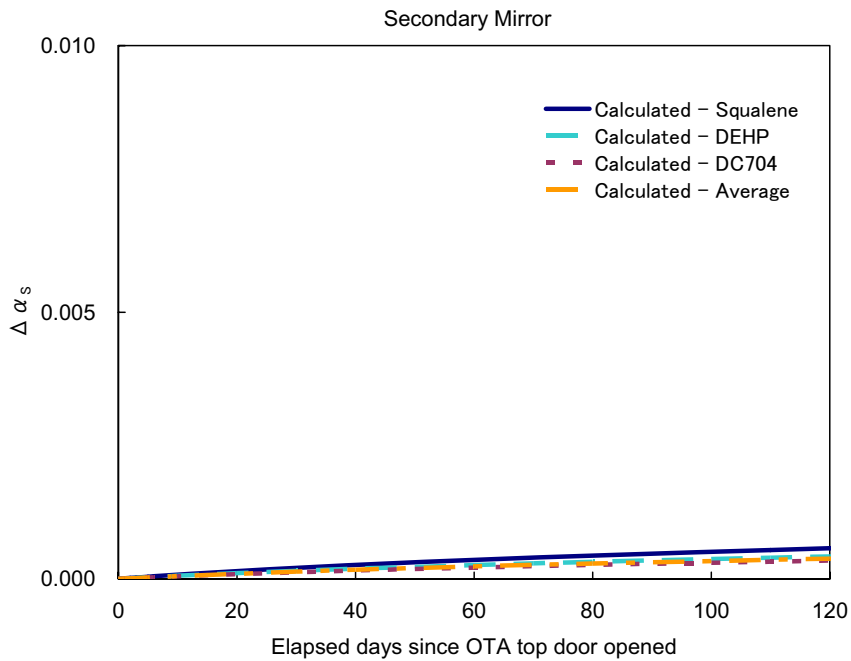


図 3-8 副鏡の太陽光吸収率変化量プロファイル (解析結果;120 日間)

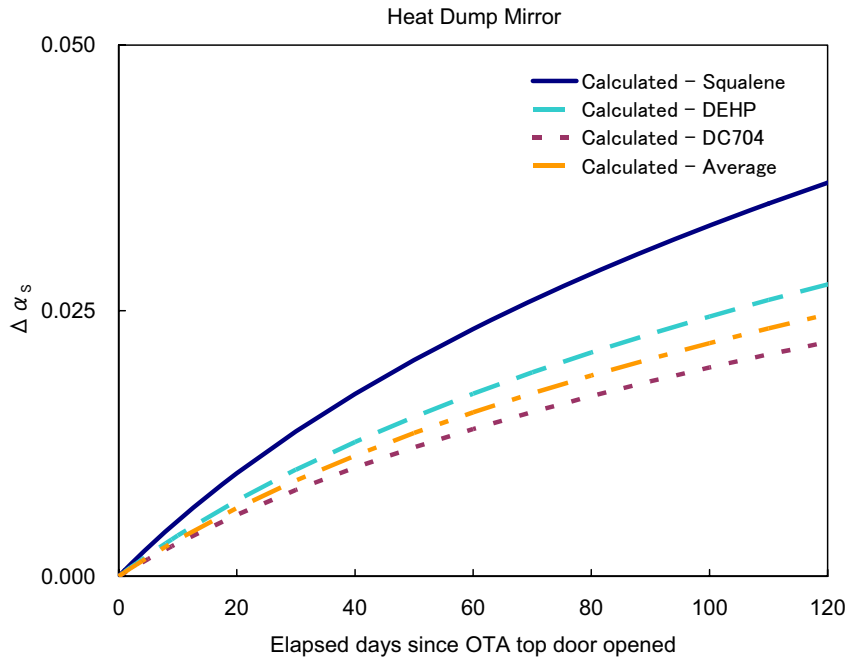


図 3-9 排熱鏡の太陽光吸収率変化量プロファイル（解析結果;120 日間）

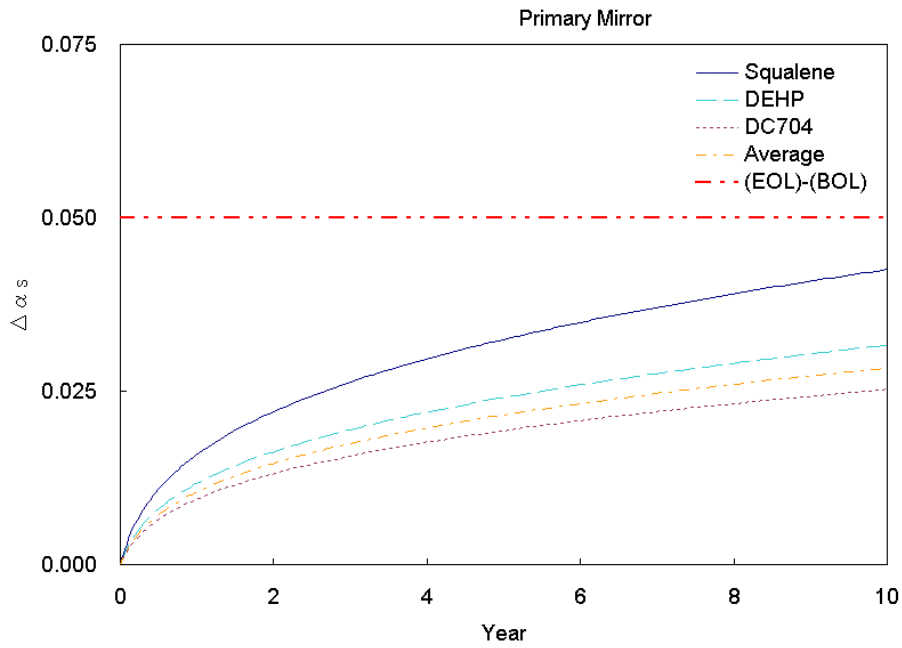


図 3-10 主鏡の太陽光吸収率変化量プロファイル（解析結果;10 年間）

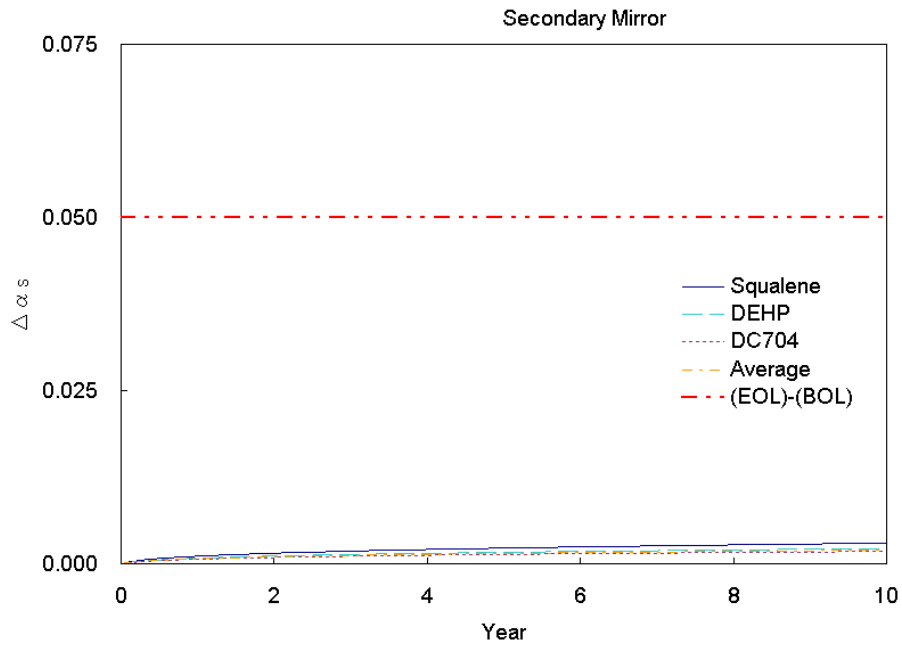


図 3-11 副鏡の太陽光吸収率変化量プロファイル (解析結果;10 年間)

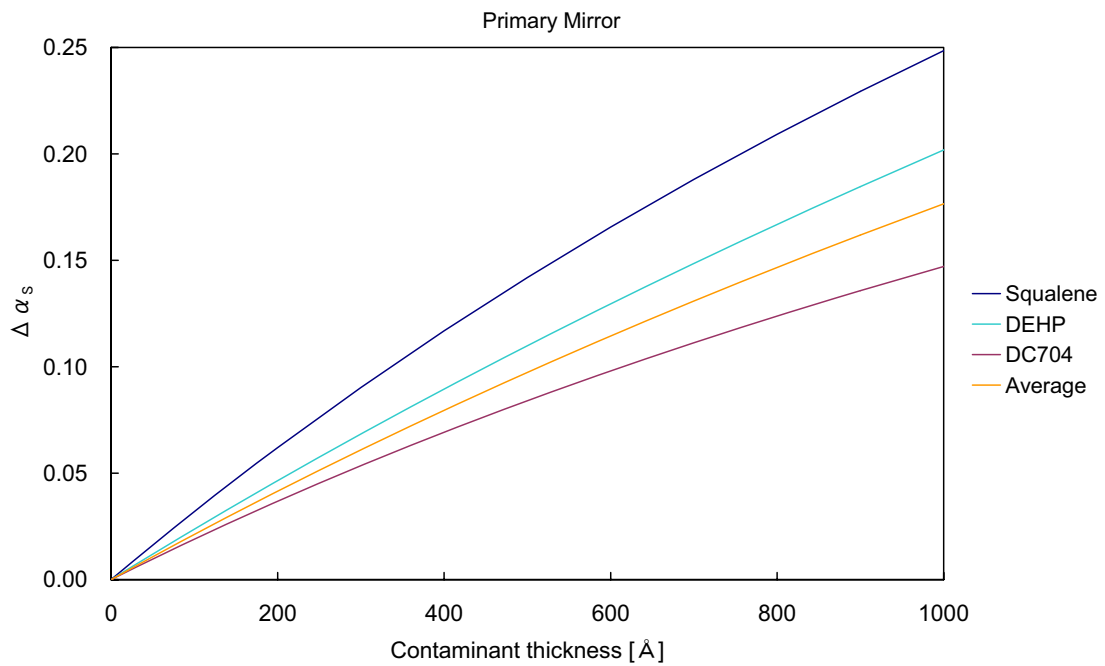


図 3-12 汚染分子付着厚による太陽光吸収率の変化量

以上より、OTA に対する汚染分子付着の影響として以下のことが想定された。

- ① トップドア展開直後が、排熱鏡の太陽光吸収率変化速度が高い傾向にある。
- ② 排熱鏡に比べ、主鏡及び副鏡の太陽光吸収率変化量が小さい傾向にある。
- ③ 主鏡及び副鏡は、共に 10 年を越える寿命を有する結果となった。

3.2 初期フライトデータによる汚染評価

3.2.1 運用データの分析

(1) OTA クリティカル面の温度プロファイル

OTA 熱解析結果に基づき次式に示す換算式(OTA クリティカル面近傍温度→クリティカル面温度)を作成し、テレメトリデータから各面の温度を計算した。この計算結果を図 3-11~13 に示す。

$$\text{主鏡の温度[°C]} : T_{M1}(t) = \frac{T_{RT11}(t) + T_{RT14}(t)}{2} + 10$$

$$\text{副鏡の温度[°C]} : T_{M2}(t) = \frac{T_{RT9}(t) + T_{RT10}(t)}{2} + 27$$

$$\text{排熱鏡の温度[°C]} : T_{HDM}(t) = T_{RT8}(t) + 16$$

t : 時刻

T_{RT11}, T_{RT14} : 底面クーリングプレート(ミラーセル側)の温度データ

T_{RT9}, T_{RT10} : 副鏡支持機構フランジ+Z の温度データ

T_{RT8} : 排熱鏡(外円筒-スパイダ取付部)の温度データ

注1) 上式の定数項は太陽中心観測(BOL)時の値である。

図 3-13-15 より、以下の特徴が挙げられる。

- 打上げ後 32 日目のトップドア展開(2006/10/25 8:35:30, UT)直後においては、内部ヒータによる加熱のため若干の間、温度が高めであった。
- OTA 観測視野が太陽中心付近から太陽リム付近に変更されたため、太陽からの熱入力が増減し、一時的に温度が下がっている時間帯がある。
- 主鏡及び副鏡に比べ、排熱鏡(HDM)の温度上昇レートが高い。次式より HDM に入射する単位面積当たりの光子数(K)は主鏡の 500 倍以上であるため、汚染分子の光化学反応付着係数の増加、或いは付着していた汚染分子付着物の紫外線による暗色化の可能性はある。

$$K = F \cdot R$$

F : 排熱鏡の集光密度 (=1500)

R : 波長 300nm 以下での主鏡の反射率の極大値 (=0.38)

- 打上げ後 78 日目以降では、主鏡、副鏡、排熱鏡ともに温度上昇レートが低下し、安定状態に達している。熱解析結果より、排熱鏡の温度が 7°C 上昇すると主鏡及び副鏡の温度が 1°C 上昇することが示されていることから、主鏡及び副鏡の温度上昇は、排熱鏡の温度上昇による可能性が高いと思われる。

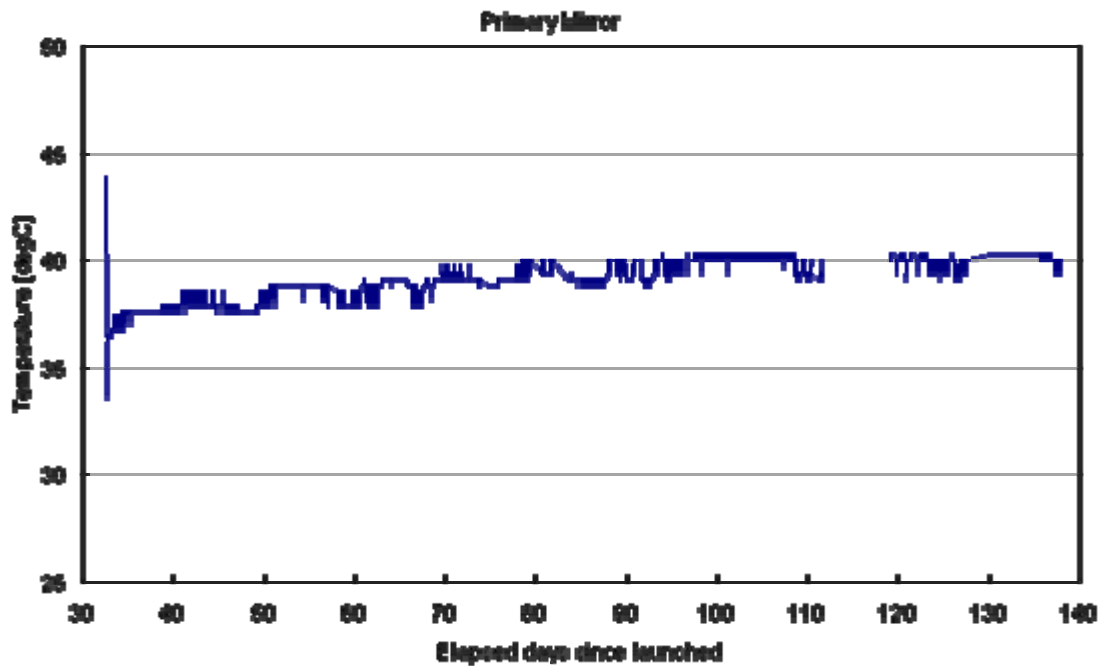


図 3-13 OTA トップドア展開以降の主鏡の温度プロファイル(換算値)

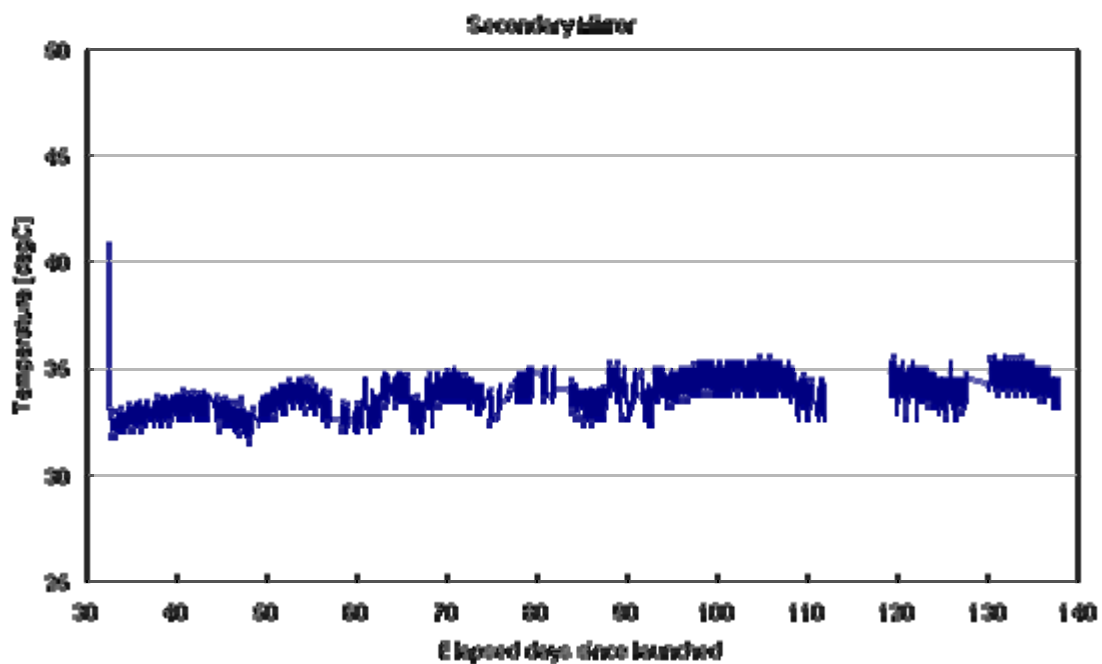


図 3-14 OTA トップドア展開以降の副鏡の温度プロファイル(換算値)

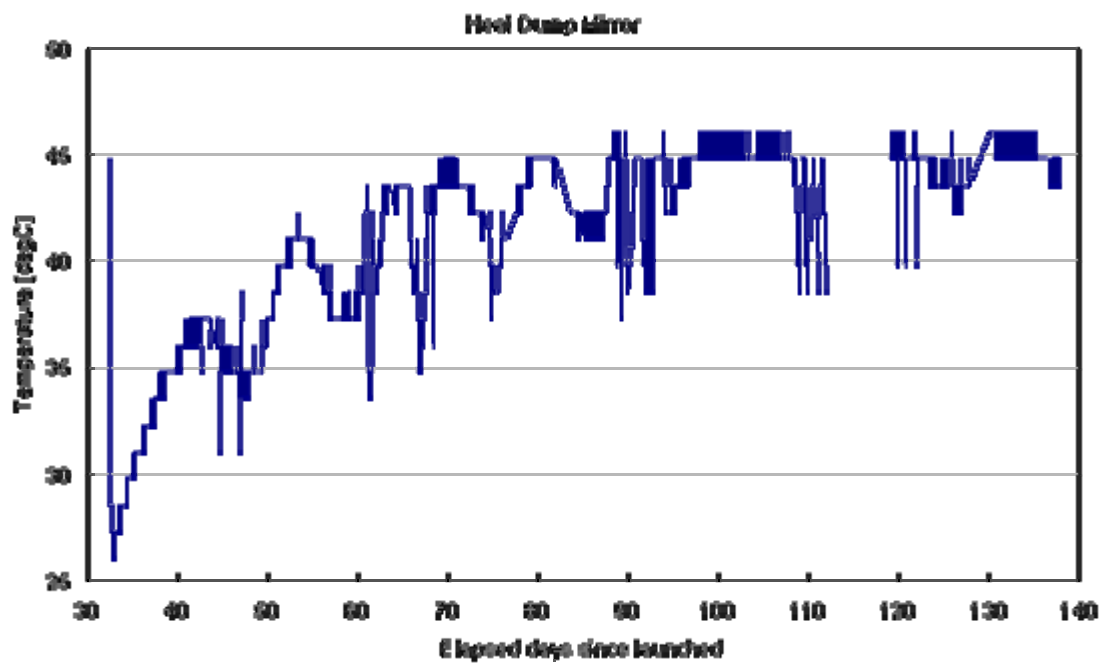


図 3-15 OTA トップドア展開以降の排熱鏡の温度プロファイル(換算値)

(2) OTA クリティカル面の太陽光吸収率変化量プロファイル

OTA の熱解析結果に基づき、以下に示す式を作成した上で各 OTA クリティカル面の太陽光吸収率変化量 $\Delta\alpha$ を計算した。結果を図 3-16~18 に示す。

実際には太陽中心/リム観測時及び図 3-19 に示した太陽からの熱入力変化が太陽電池パネル(SAP; Solar Array Panel)の温度に影響を与えるため、次式のように単純に $\Delta\alpha$ を求められないが、図 3-16~18 の極大付近では太陽中心付近を観測していると推測される。また、主鏡及び排熱鏡の $\Delta\alpha$ 算出に当たっては排熱鏡の温度上昇による影響を差し引いた計算式であるが、外部熱環境の変動は考慮していない。

$$\begin{aligned} \text{主鏡：} \quad \Delta\alpha_{M1}(t) &= \left[T_{M1}(t) - T_{M1,0} - \frac{\Delta T_{HDM}(t)}{\kappa} \right] \cdot \frac{\alpha_{M1,EOL} - \alpha_{M1,BOL}}{T_{M1,EOL} - T_{M1,BOL}} \\ &= \left[T_{M1}(t) - 37 - \frac{\Delta T_{HDM}(t)}{7} \right] \cdot \frac{0.05}{55 - 34} \\ &= \left[T_{M1}(t) - 37 - \frac{\Delta T_{HDM}(t)}{7} \right] \cdot 0.00238 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{副鏡：} \quad \Delta\alpha_{M2}(t) &= \left[T_{M2}(t) - T_{M2,0} - \frac{\Delta T_{HDM}(t)}{\kappa} \right] \cdot \frac{\alpha_{M2,EOL} - \alpha_{M2,BOL}}{T_{M2,EOL} - T_{M2,BOL}} \\ &= \left[T_{M2}(t) - 32 - \frac{\Delta T_{HDM}(t)}{7} \right] \cdot \frac{0.05}{40 - 20} \\ &= [T_{M2}(t) - 32] \cdot 0.00250 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{排熱鏡：} \quad \Delta\alpha_{HDM}(t) &= \Delta T_{HDM}(t) \cdot \frac{\Delta\alpha_{HDM}(t_1)}{T_{HDM}(t_1) - T_{HDM0}} \\ &= \Delta T_{HDM}(t) \cdot \frac{0.027}{34 - 27} \\ &= \Delta T_{HDM}(t) \cdot 0.00386 \\ \Delta T_{HDM}(t) &= T_{HDM}(t) - T_{HDM,0} \\ &= T_{HDM}(t) - 27 \end{aligned}$$

α_{BOL} : 太陽中心観測/BOL 時の太陽光吸収率

α_{EOL} : 太陽中心観測/EOL 時の太陽光吸収率

T_{BOL} : 太陽中心観測/BOL 時の温度予測値(熱解析結果)

T_{EOL} : 太陽中心観測/EOL 時の温度予測値(熱解析結果)

T_0 : 2006/10/26 時点での温度推定値

κ : 主鏡及び排熱鏡温度を 1°C 上昇させるための排熱鏡温度変化(熱解析結果)

$\Delta\alpha_{HDM}(t_1)$: 2006/10/31 時点での HDM の太陽光吸収率変化量(熱解析結果)

T_{HDM} : 2006/10/31 時点での HDM の温度換算値(熱解析結果)

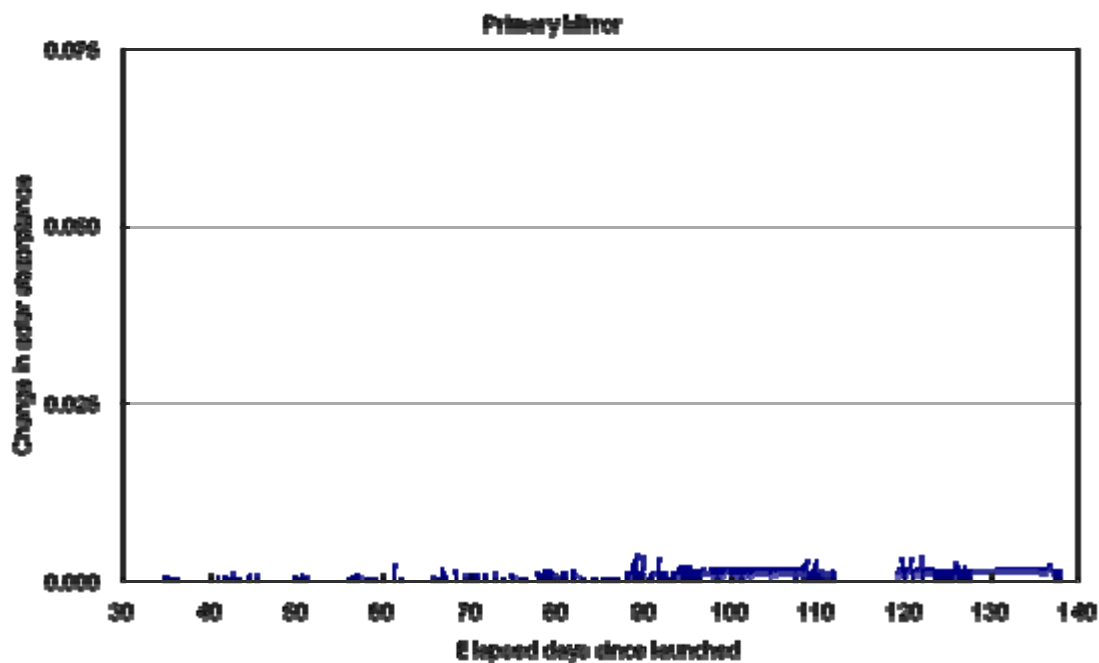


図 3-16 OTA トップドア展開以降の主鏡の $\Delta\alpha$ プロファイル (換算値)

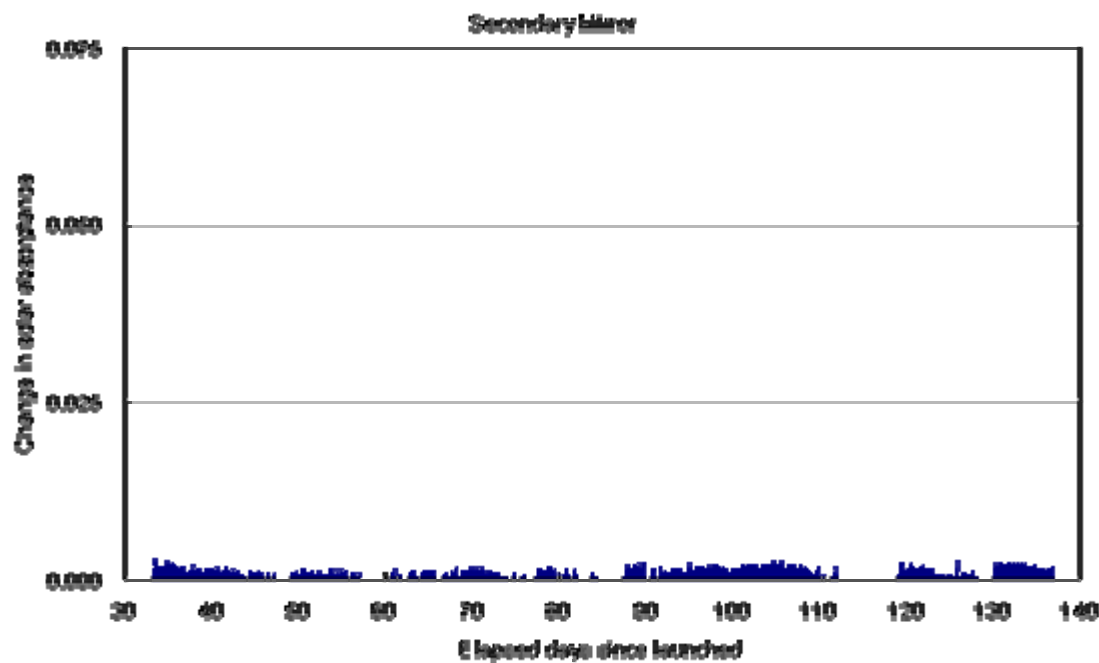


図 3-17 OTA トップドア展開以降の副鏡の $\Delta\alpha$ プロファイル (換算値)

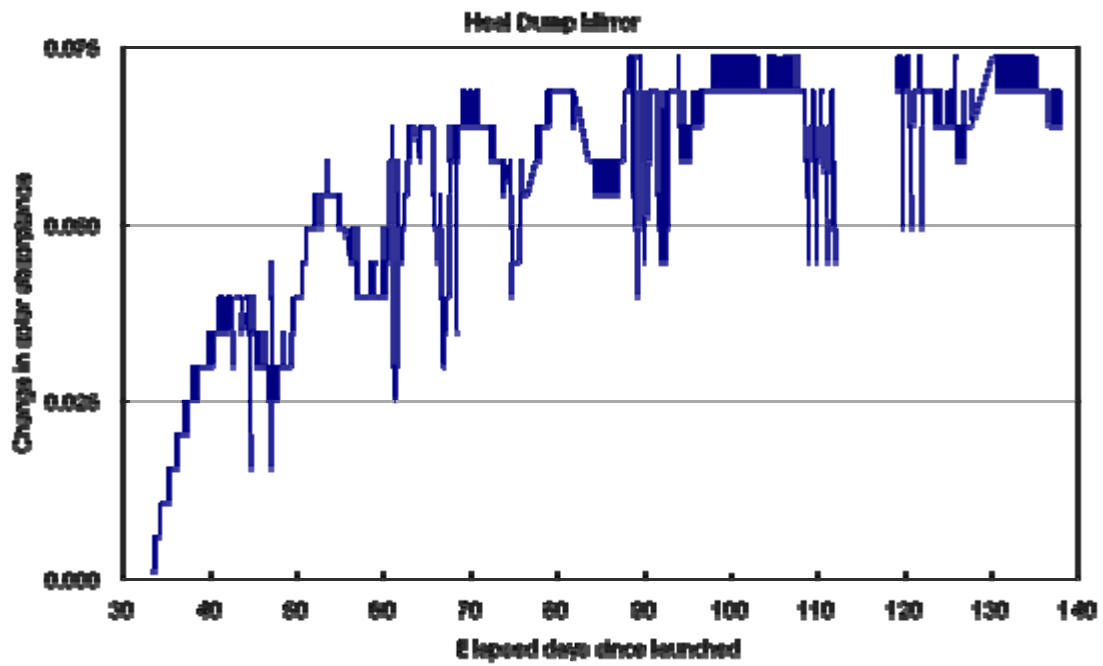
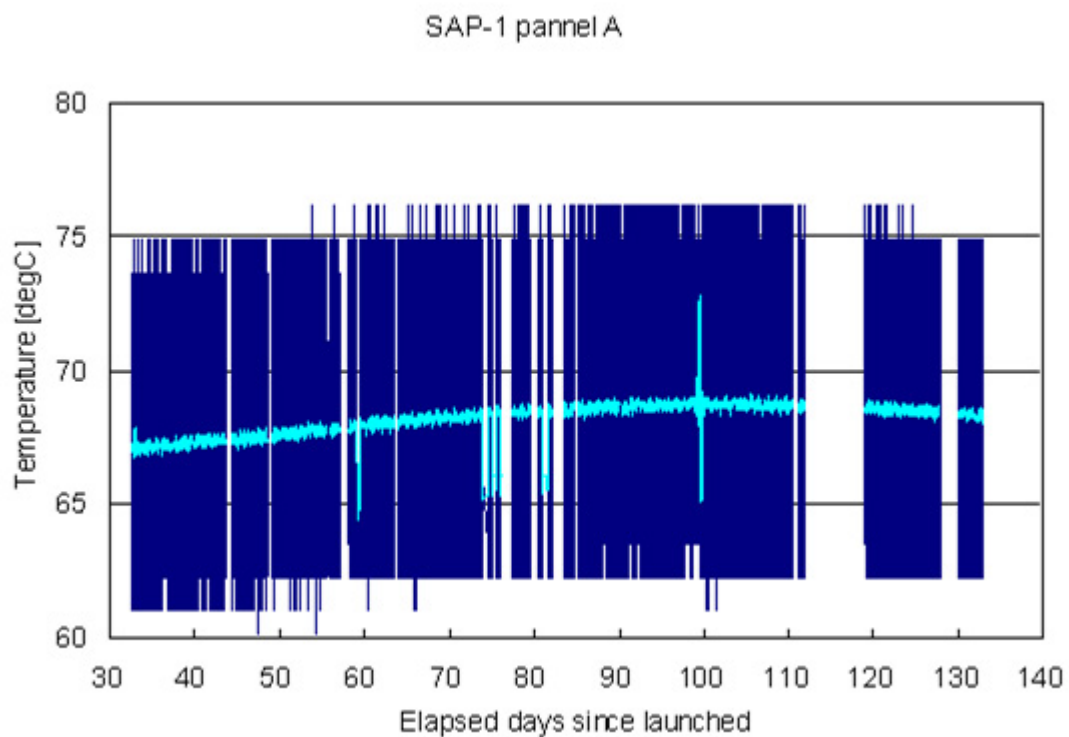
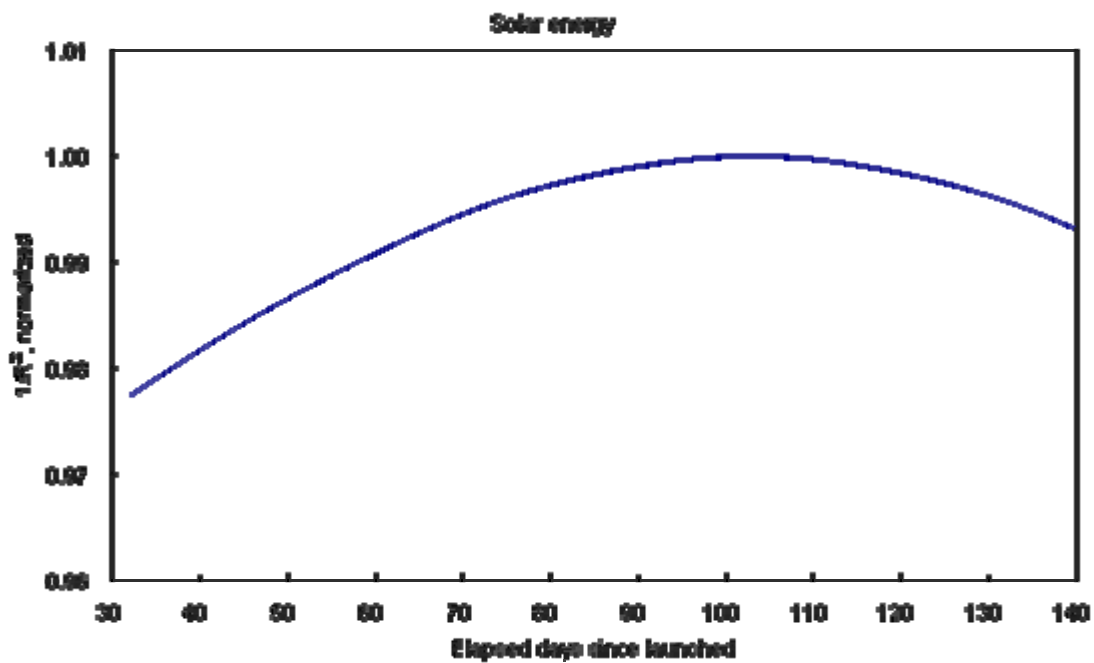


図 3-18 OTA トップドア展開以降の排熱鏡の $\Delta\alpha$ プロファイル (換算値)



水色の実線：実データ(紺色)を移動平均処理の結果

(a) SAP の温度変化



(b) 太陽からの距離の 2 乗の逆数 (正規化)

図 3-19 SAP 温度と太陽距離の関係

3.2.2 解析結果の評価

太陽光吸収率変化量 $\Delta\alpha$ (換算値)と各解析結果の比較を図 3-20~22 に示す。比較結果の概略は以下の通りであった。

- 主鏡：解析値と換算値の $\Delta\alpha$ の差異はプロジェクト要求値の 0.05 に比べて一桁小さいため、これらの値は概ね一致する。
- 副鏡：解析値は換算値の $\Delta\alpha$ の差異はプロジェクト要求値の 0.05 に比べて一桁小さいため、これらの値は概ね一致する。
- 排熱鏡：解析値は換算値を下回っており、年単位の長期に渡るテレメトリデータの分析が必要である。

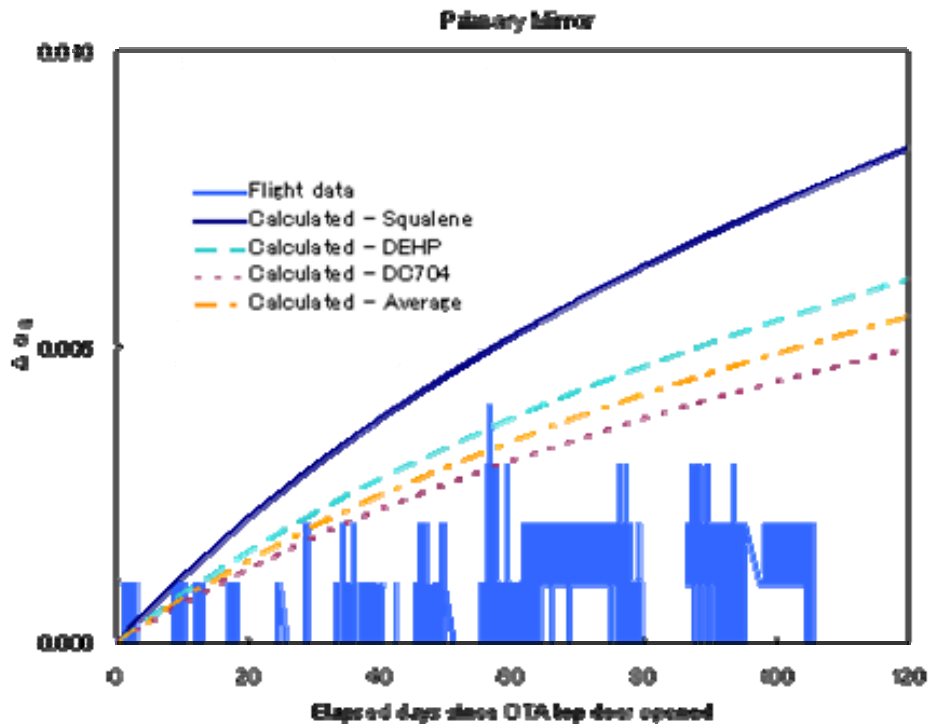


図 3-20 主鏡の太陽光吸収率変化量(換算値と解析結果の比較)

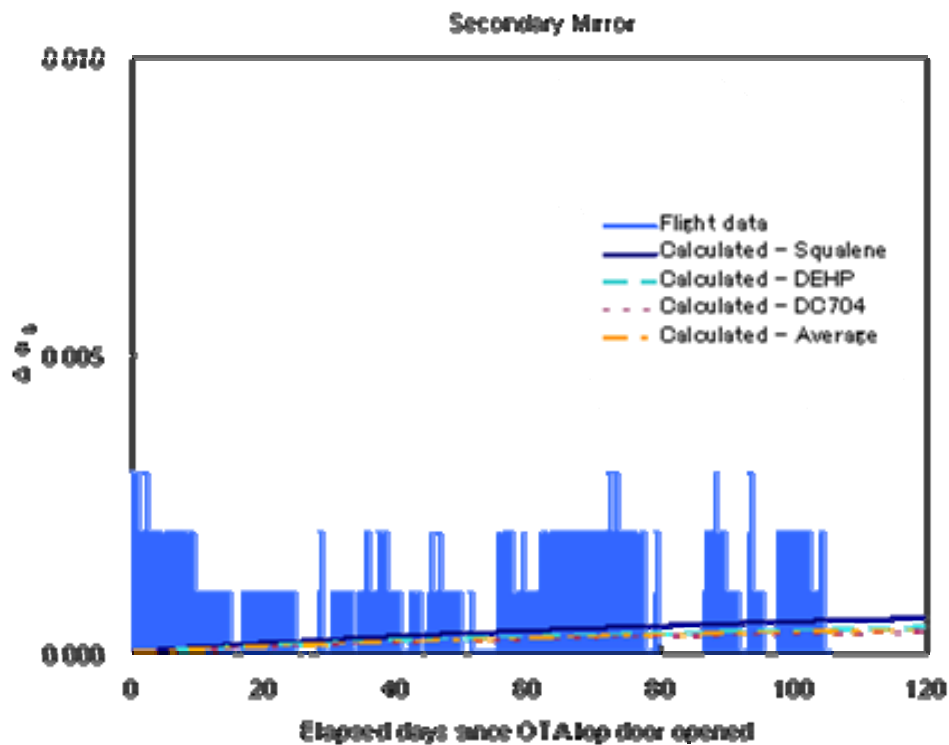


図 3-21 副鏡の太陽光吸収率変化量(換算値と解析結果の比較)

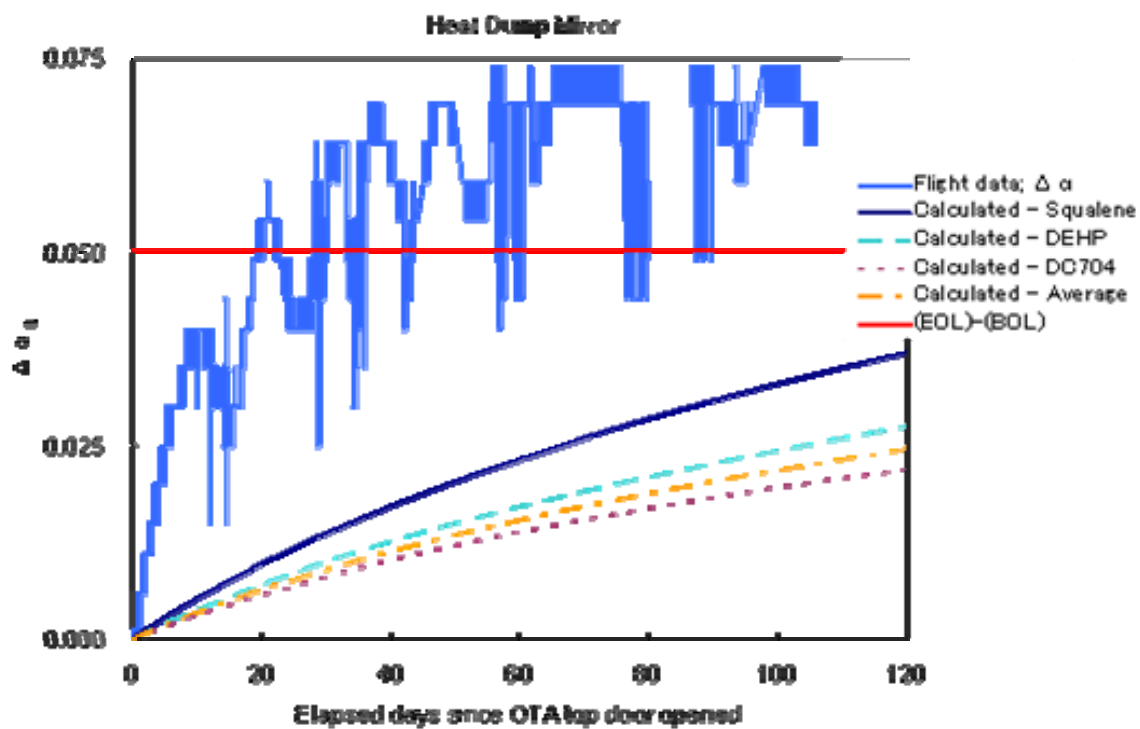


図 3-22 排熱鏡の太陽光吸収率変化量(換算値と解析結果の比較)

4. 成果のまとめ

日本で初めて実施したフライトデータ(約 100 日分)と汚染環境解析結果の比較・評価から以下の成果を得た。

- ① OTA コンポーネントのベーキング時に取得した TQCM データを用いて行った汚染解析結果は、プロジェクトの要求値を満足した。
- ② UV 入射強度が極端に高い排熱鏡の場合を除いた主鏡、副鏡の汚染評価において、解析値は実測値を概ね一致することを検証できた。
- ③ 排熱鏡の汚染評価において、フライトデータを取得できた初期期間では実測値が解析値を大きく上回った。このため今後もテレメトリデータを分析し、長期間での実測値と解析値の比較・評価を行う必要がある。

5. 課題

SOLAR-B フライトデータによる汚染解析に関する今後の課題として、以下が挙げられる。

汚染分子付着現象は経年変化することが予想されるため、解析結果の評価には年単位での「ひので」フライトデータが必須である。また、本評価では 3.2.1 項(2)に示した換算式により太陽光吸収率を算出したため、比較対象そのものに不確実性が多分に含まれている。

このため今後も引き続き、数学モデルの検証/評価を進めつつ、汚染分子付着に係る長期間のテレメトリデータの分析、汚染環境の変動要因の抽出を行い、解析結果の評価を進める必要がある。

6. 謝辞

本研究を実施するにあたり、国立天文台の常田佐久教授、一本潔准教授、原弘久助教授、勝川行雄助教授、中桐正夫プロジェクトエンジニア、田村友範技術員に多大なご協力を頂きました。ここに、心より感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 宇宙航空研究開発機構研究開発「平成 17 年度 外部汚染環境解析に関する研究」成果報告書
- [2] 宇宙航空研究開発機構研究開発「平成 18 年度 外部汚染環境解析に関する研究」成果報告書
- [3] 堀越源一著、真空技術(第 3 版)、東京大学出版、1994 年
- [4] T. B. Stewart, G. S. Arnold, D. F. Hall, and H. D. Marten, "Absolute Rates of Vacuum-Ultraviolet Photochemical Deposition of Organic Films", J. of Phys. Chem., Vol.93, pp.2393-2400, 1989
- [5] A. C. Tribble, "Fundamentals of Contamination Control", SPIE Press, 2000

宇宙航空研究開発機構研究開発資料 JAXA-RM-07-008

発行 平成 20 年 2 月 29 日

編集・発行 宇宙航空研究開発機構

〒182-8522 東京都調布市深大寺東町 7-44-1

URL : <http://www.jaxa.jp/>

印刷・製本 (有) ノースアイランド

本書及び内容についてのお問い合わせは、下記にお願いいたします。

宇宙航空研究開発機構 情報システム部 研究開発情報センター

〒305-8505 茨城県つくば市千現 2-1-1

TEL : 029-868-2079 FAX : 029-868-2956

© 2008 宇宙航空研究開発機構

※ 本書の一部または全部を無断複写・転載・電子媒体等に加工することを禁じます。

