



# Solar-C(EUVST):光学設計と実現性検討

## Solar-C(EUVST):Optical Design and Feasibility Study



都築俊宏, 末松芳法, 石川遼子, 勝川行雄, 原弘久 (国立天文台), 川手朋子 (核融合研), 清水敏文 (JAXA/ISAS)

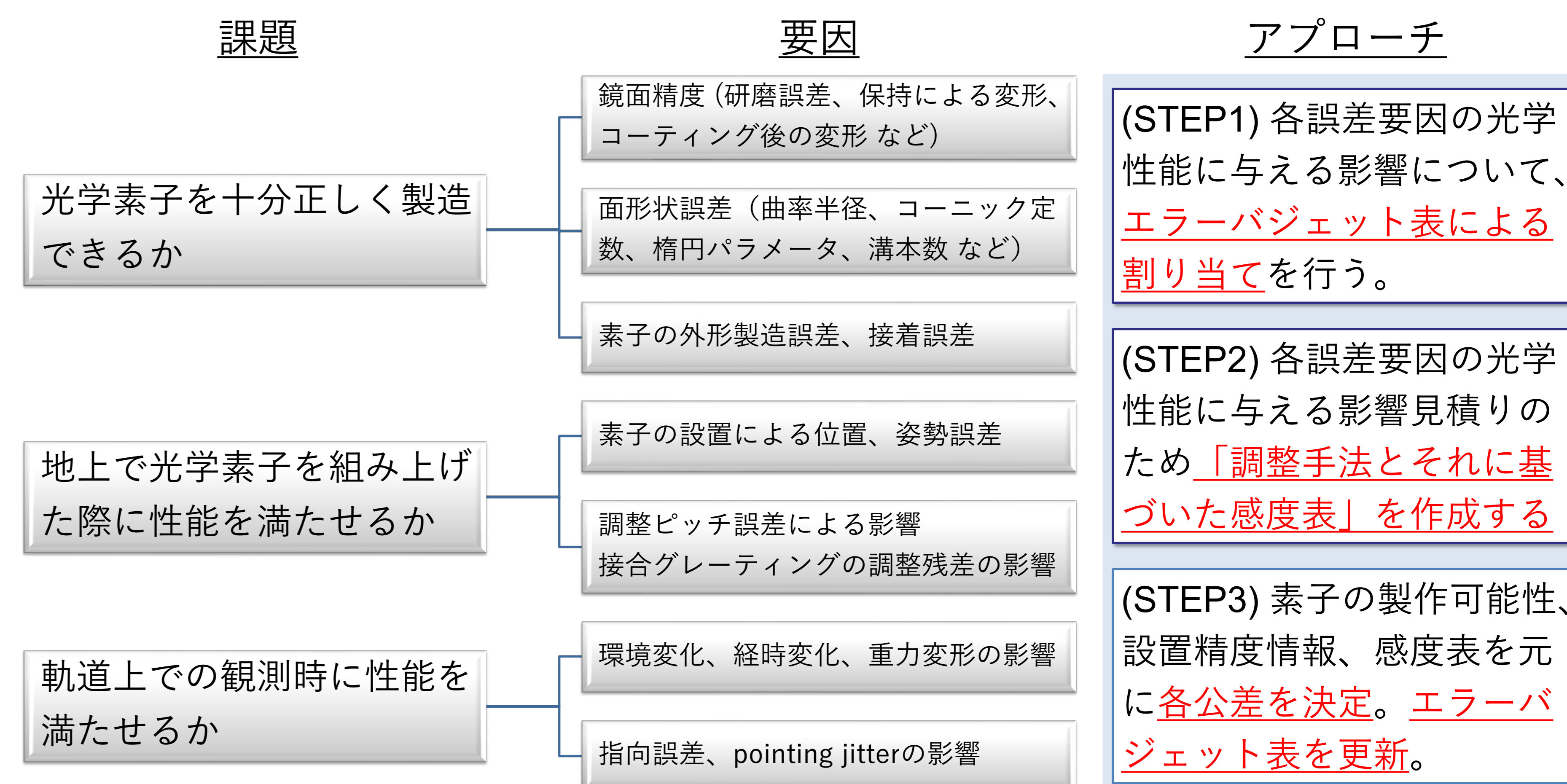
Solar-C (EUVST)の光学設計結果について報告する。EUVSTは極端紫外線帯域 (170-1225 Å)において0.4"の高空間分解能での分光観測を実現する。その光学系は開口部フィルターを廃し光学素子を主鏡と回折格子のみに抑えることで、従来の10-30倍の有効面積を達成した。回折格子は2種類の楕円回折格子を接合することで、結像性能および広い波長帯域の両立を実現した。さらに感度解析結果を元に、仕様を達成できる各光学素子の公差量およびアライメントプランを提案した。本発表では、光学系の設計結果とそれを実現できるアライメントプランについて報告する。

### EUVST 光学系要求仕様

項目	要求仕様	
観測波長	極端紫外線の観測有力輝線を含む以下の波長領域	
	Short wavelength (SW)	SW 171.073 – 211.317 Å
	Long wavelength (LW)	LW1 718.506 – 845.570 Å
		LW2 943.587 – 1036.34 Å
	LW3 1118.07 – 1215.67 Å	
視野	FOV1	空間分解の高い視野として100秒角以上
	FOV2	全観測視野として280秒角以上
空間分解能	FOV1	すべての要素込みで0.4秒角
	FOV2	すべての要素込みで0.8秒角
波長分解能	SW	$\lambda/d\lambda > 3240$ (FOV1, 0.4秒角幅スリット使用時)
	LW	$\lambda/d\lambda > 7450$ (FOV1, 0.4秒角幅スリット使用時)
有効面積	有効面積を最大化するため光学素子点数は最小とすること。また、光学素子、preslit、カメラボックスによる光束のケラレがないようにすること	
サイズ	Epsilonロケット内の割当て範囲内に収まること (3300 x 700 x 700 mm)	

### 光学系実現性検討

#### 【光学系実現への課題とアプローチ】



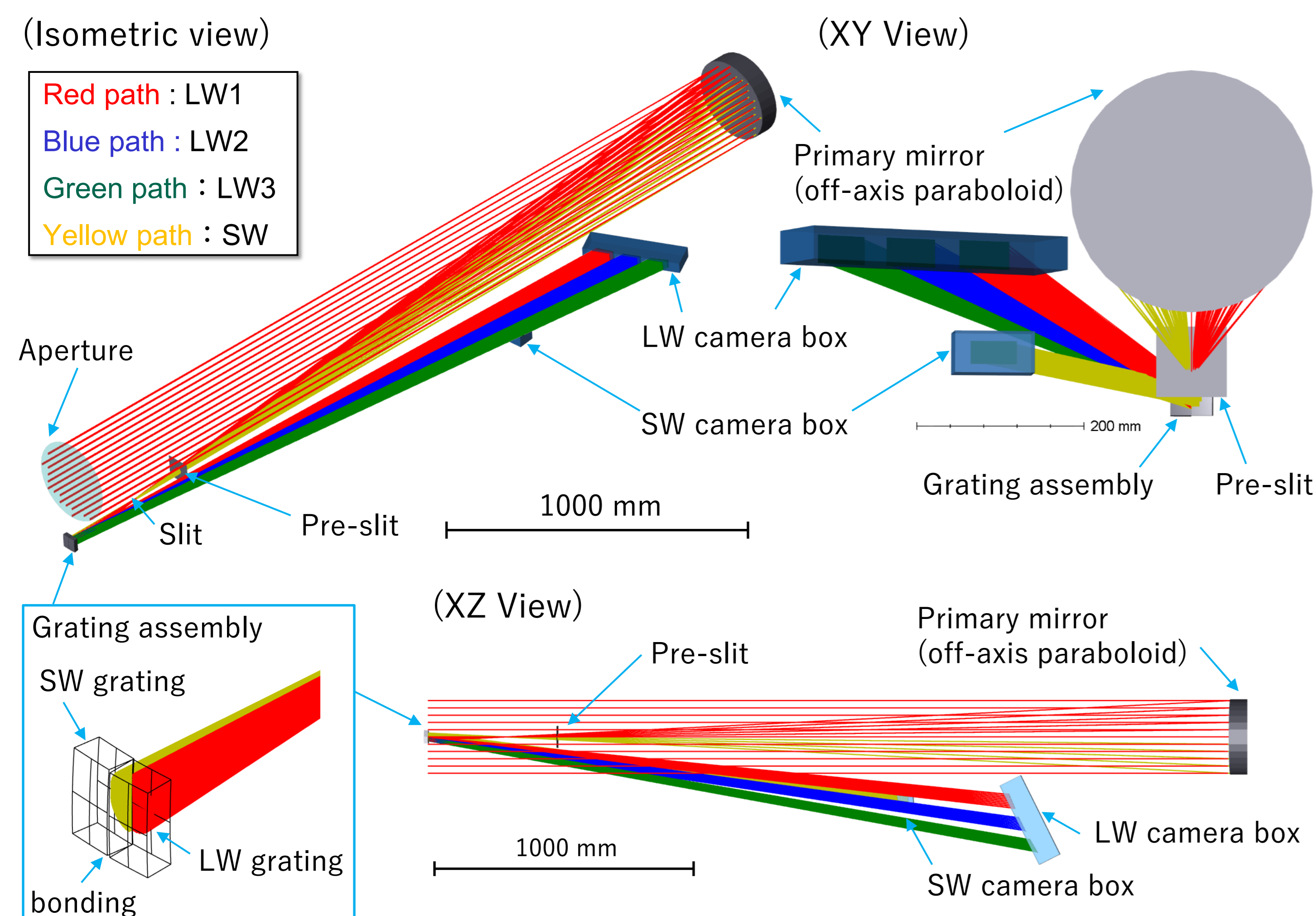
#### 【提案した調整手法】

望遠鏡光学系：主鏡ポインティング用の直動機構、傾動機構を最大限活用する。

分光光学系：1体型グレーティングをどのように調整するかが課題。提案手法は以下

### 光学設計結果

#### 【光学系レイアウト】



#### 【光学設計指針】

##### 【有効面積の最大化】

素子点数を最小化するため、望遠鏡光学系は軸外し放物面 (OAP)のみで太陽像を結像させる。また、分光器光学系は凹面グレーティングのみで分光撮像させる。

##### 【広い観測波長帯域の実現】

分光はSW用、LW用の2種類のグレーティングを接合したものを使用。LWは広い観測波長帯域に対応するため、1つの検出器に3つの検出器 (LW1, 2, 3)を配置。

##### 【高い空間分解能の実現】

製造可能性および結像性能の観点で、グレーティング面形状は軸外し楕円を選択。溝配列は可変溝間隔 (線形1次の項まで使用)を選択

#### 【光学性能パラメータ】

Parameter	SW	LW1	LW2	LW3	
Spatial scale [arcsec/um]	0.0118	0.0097	0.0095	0.0093	
Dispersion [mA/um]	1.241	2.193	2.006	1.803	
Grating magnification	-6.226	-7.571	-7.736	-7.927	
Pixel size [um]	13.5	16.7	16.7	16.7	
Spatial resolution [arcsec]	FOV1	0.098	0.207	0.166	0.170
	FOV2	0.186	0.374	0.310	0.311
Spectral resolution	$\lambda/d\lambda$	3795.9	7465.5	9695.5	11829.8

#### 【提案調整手法に基づく空間分解能感度表 (FOV1)】

Elements	Def	Tolerance	Spatial resolution change [LW] [arcsec]	Spatial resolution change [SW] [arcsec]
Primary Mirror	Decenter	X 20 μm	0.001	0.002
		Y 20 μm	0.004	0.002
	Shift	Z 9 μm	0.040	0.023
Grating	Decenter	X 20 μm	0.000	0.000
		Y 20 μm	0.000	0.001
	Shift	Z 9 μm	0.041	0.000
Camera Box (LW)	Decenter	X 100 μm	0.001	0.002
		Y 100 μm	0.000	0.000
	Shift	Z 100 μm	0.000	0.000
Detector	Decenter	X 100 μm	0.000	0.000
		Y 100 μm	0.000	0.000
	Shift	Z 100 μm	0.005	0.006

#### 【感度解析結果のポイント】

- ✓ 楕円形状を示すパラメータ(a, b)の感度が大きく、シフトZ調整では補償しきれない。
- ✓ 続けて、調整ピッチ誤差による影響も無視できない

#### 【感度解析結果をふまえた方針】

- ✓ 楕円形状パラメータ(a, b)および、調整ピッチ要求は厳しく。
- ✓ 同時に楕円パラメータ(a, b)の誤差を小さくできる製造業者を調査。

#### 【分光器部の現時点設定公差と想定される空間分解能劣化量 (FOV1)】

Elements	Def	Error factor	Error budget [LW]	Spatial Resolution [LW] [arcsec]	Error budget [SW]	Spatial Resolution [SW] [arcsec]
Grating	Decenter	X (1) Positional accuracy of a monument wrt EUVST mechanical reference	100 μm	-	100 μm	-
		Y (2) Positional accuracy of grating vertex wrt reference surface	50 μm	-	50 μm	-
		Z (3) Positional accuracy of reference surface wrt the monument	0 μm	-	60 μm	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 μm	-	50 μm	-
	Total		210 μm	0.008	210 μm	0.041
Dispace	Z	(1) Positional accuracy of a monument wrt EUVST mechanical reference	0 μm	-	100 μm	-
		(2) Positional accuracy of grating vertex wrt reference surface	50 μm	-	50 μm	-
		(3) Positional accuracy of reference surface wrt the monument	0 μm	-	10 μm	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 μm	-	10 μm	-
	Total		9 μm	0.001	407.2 μm	0.000
Tilt	X	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	60 arcsec	-	60 arcsec	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	15 arcsec	-	15 arcsec	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	0 arcsec	-	10 arcsec	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 arcsec	-	30 arcsec	-
	Total		85 arcsec	0.002	115 arcsec	0.010
Tilt	Y	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	60 arcsec	-	60 arcsec	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	15 arcsec	-	15 arcsec	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	15 arcsec	-	10 arcsec	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 arcsec	-	30 arcsec	-
	Total		85 arcsec	0.012	115 arcsec	0.014
Ruling density	Z	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	60 arcsec	-	60 arcsec	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	720 arcsec	-	720 arcsec	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	10 arcsec	-	10 arcsec	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 arcsec	-	720 arcsec	-
	Total		780 arcsec	0.000	1510 arcsec	0.000
Ruling parameter a	Z	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	0.05 %	-	0.05 %	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	0.05 %	-	0.05 %	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	0.0002 %	-	0.0002 %	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 %	-	0 %	-
	Total		0.05 %	0.001	0.05 %	0.001
Ruling parameter b	Z	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	0.05 %	-	0.05 %	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	0.05 %	-	0.05 %	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	0.0002 %	-	0.0002 %	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	0 %	-	0 %	-
	Total		0.05 %	0.001	0.05 %	0.001
Ruling parameter c	Z	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	100 μm	-	100 μm	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	100 μm	-	100 μm	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	100 μm	-	100 μm	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	100 μm	-	100 μm	-
	Total		100 μm	0.000	100 μm	0.000
Shift	Z	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	100 μm	-	100 μm	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
	Total		100 μm	0.000	100 μm	0.000
Tilt	X	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
	Total		2 arcmin	0.000	2 arcmin	0.000
Tilt	Y	(1) Error of an optical cube wrt EUVST mechanical reference	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(2) Error of grating vertex wrt reference surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(3) Error of reference surface wrt the optical cube	2 arcmin	-	2 arcmin	-
		(4) Joint error wrt EGA (F) surface	2 arcmin	-	2 arcmin	-
	Total		2 arcmin	0.000	2 arcmin	0.000

分光器部の各誤差要因に実現できる公差を設定。分光器部の組立て起因の空間分解能劣化予想値は (LW) 0.044 arcsec, (SW) 0.041 arcsec となった。これは当初想定していた割り当て量である (LW) 0.046 arcsec, (SW) 0.043 arcsec を満たす。