

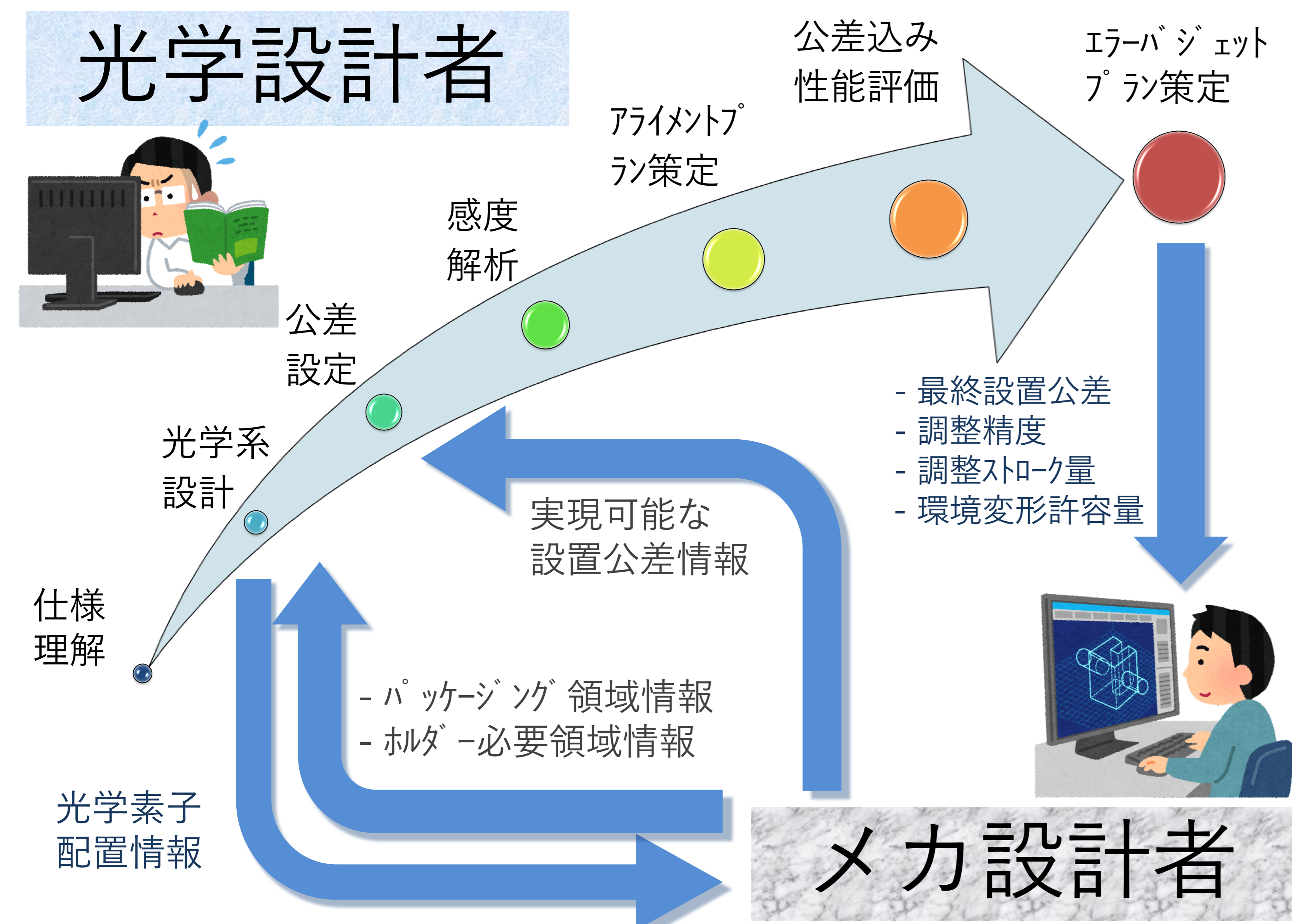


SUNRISE-3 大気球太陽観測実験： 偏光分光装置SCIPの光学設計

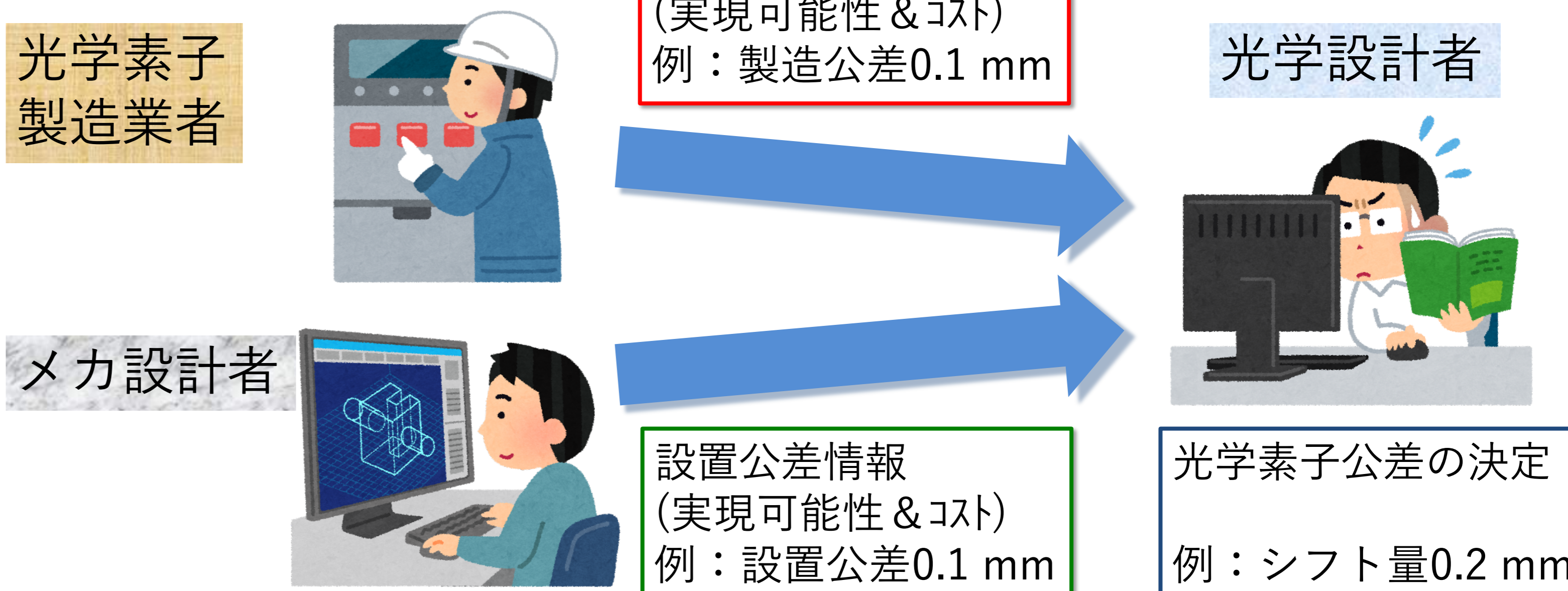
都築俊宏, 勝川行雄, 浦口史寛, 原弘久 (国立天文台), 岩村哲 (MRJ), 久保雅仁, 末松芳法 (国立天文台), 清水敏文 (JAXA/宇宙科学研究所)

【設計アプローチ: 先端技術センターの光学設計】

光学設計者とメカ設計者の距離が近く、十分なイテレーションが可能
→ 設計専門職のノウハウをフル活用した、効率的なオプトメカ設計 & 評価

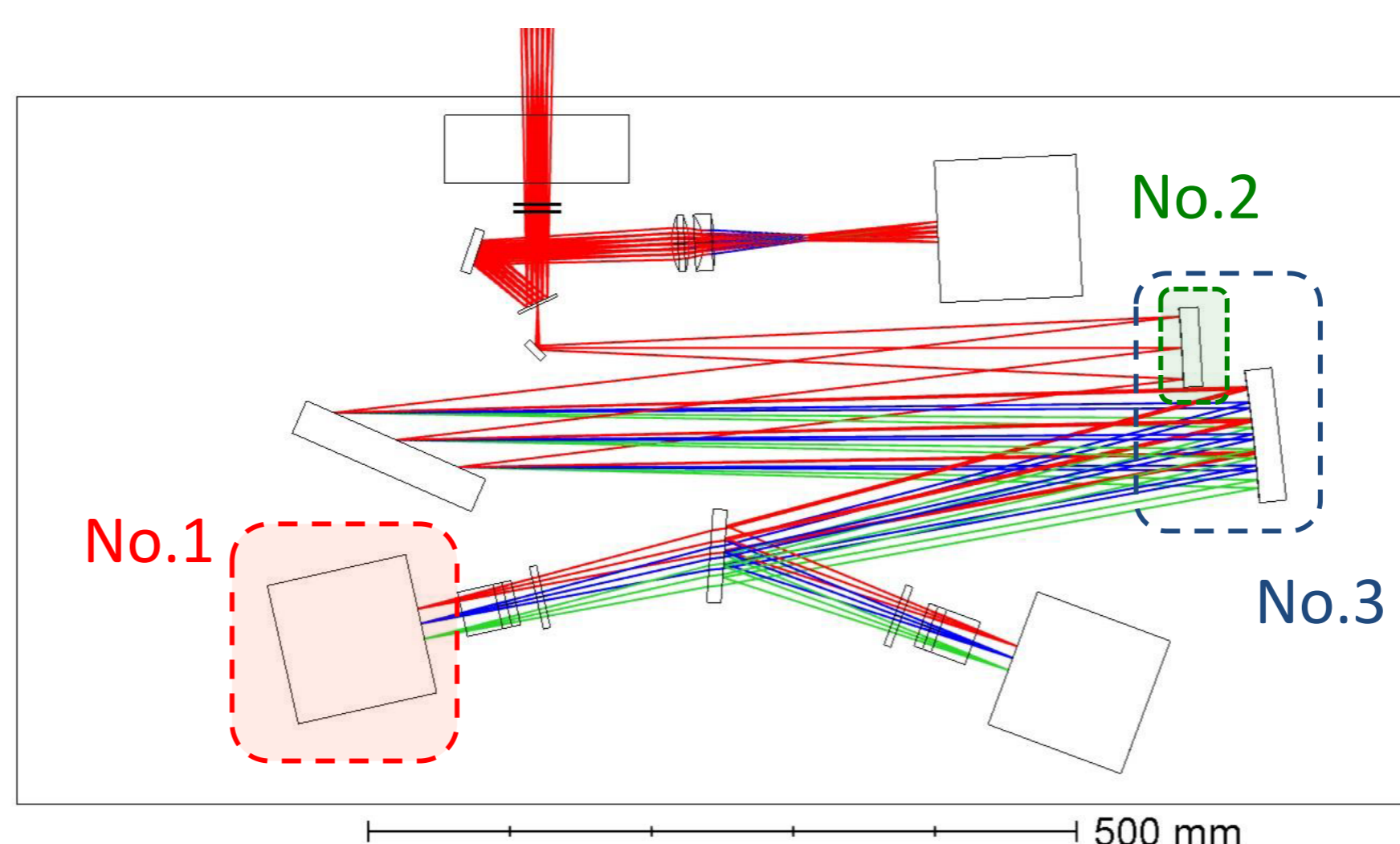


【公差設定】



【感度解析】

結像性能への感度の高い公差を特定。



- No.1 デフォーカス成分:**
 - 光学素子間の空気間隔
 - ミラーの曲率半径誤差 など
- No.2 グレーティング入射光線の平行度変化:**
 - SP-COLM の曲率半径誤差
 - SP-SLIT, SP-COLM の空気間隔誤差 など
- No.3 非球面鏡の位置精度:**
 - SP-COLM, SP-CAMM の設置誤差 など

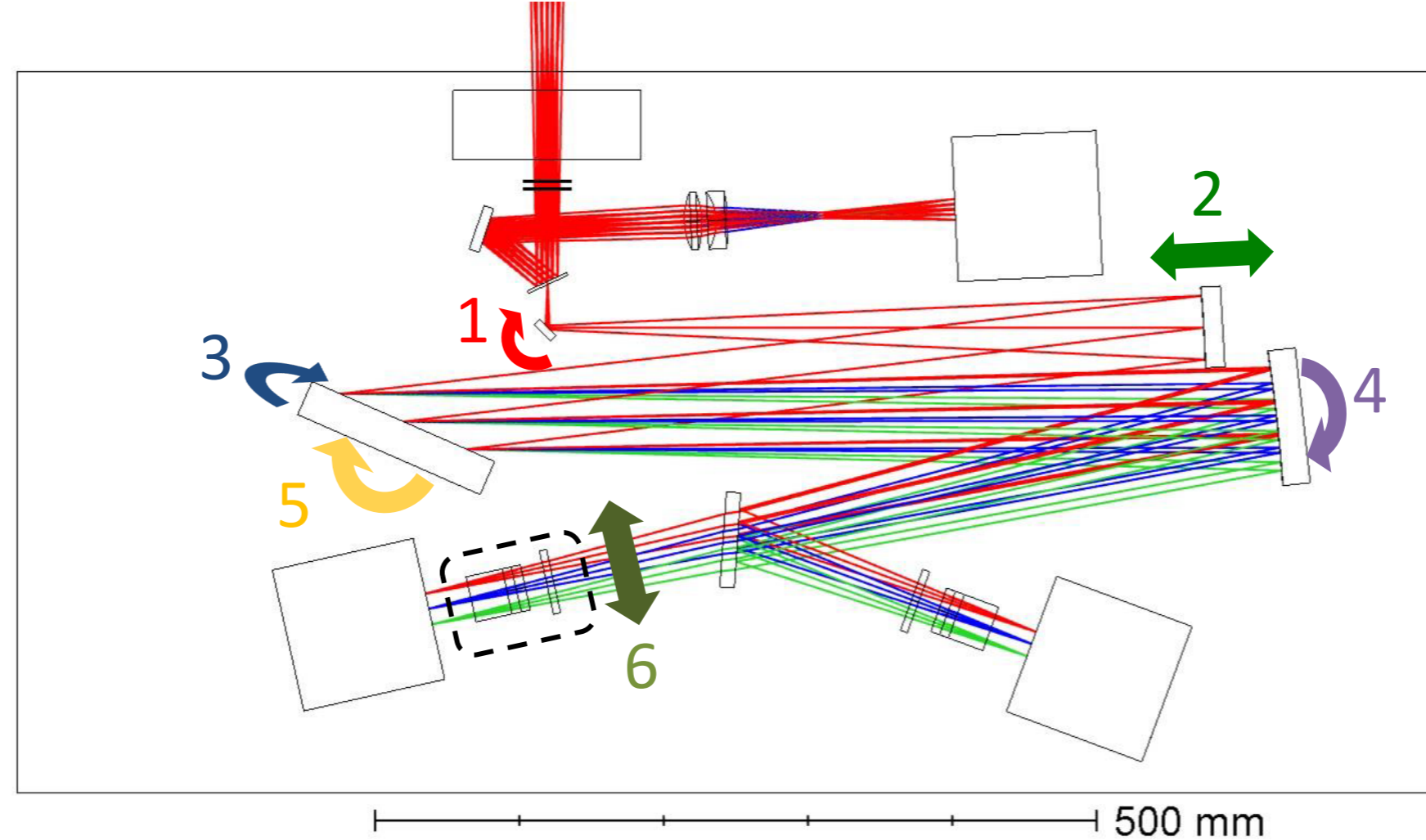
【SCIP光学系要求仕様】

高波長・高空間分解能！
2波長帯・2偏光同時観測！

項目	科学要求	SCIP 光学系要求仕様
上流光学系	-	口径 1m グレゴリアン式光学望遠鏡 + リレー光学系 - 有効焦点距離 24200 mm (F/24.2)
波長	光球・彩層を同時に切れ目なく観測できるスペクトル線の組み合わせ	1) Ca II 線 850nm 帯 (846.6 - 854.9 nm) 2) KI 線 770nm 帯 (765.5 - 771.6 nm) の 2波長帯の同時観測
視野	動的現象の環境条件を調べるのに必要な視野	58 秒角(スリット) x 58 秒角(スキャン) (※ 超粒状斑を十分にカバーできる範囲)
分解能	空間方向	望遠鏡も含めた光学系全体として、回折限界分解能 (0.2秒角@波長 850nm) を達成すること
	波長方向	彩層磁場観測に必要な波長分解能を持つこと $\lambda / \Delta \lambda = 2 \times 10^5 @ 846.6 \text{ nm}$
その他	偏光	直線偏光と円偏光を高精度に観測できること 互いに直交する 2つの直線偏光成分の同時観測
	スループット	できるだけ多くの光子を得ること スリットによる回折光まで結像させること (目標: F/11)
	スリットモニター	望遠鏡の指向調整ができること スリットをモニターできる光学系 (Slit-jaw光学系) をもつこと
	パッケージング	SUNRISE焦点面装置の割当て 1000 mm x 500 mm x 340 mm

【アライメントプラン策定】

結像性能への感度の高い公差の影響を軽減できるよう、調整自由度とアライメント手順を策定。同時に像回転、ケラレを補正するための調整を追加。

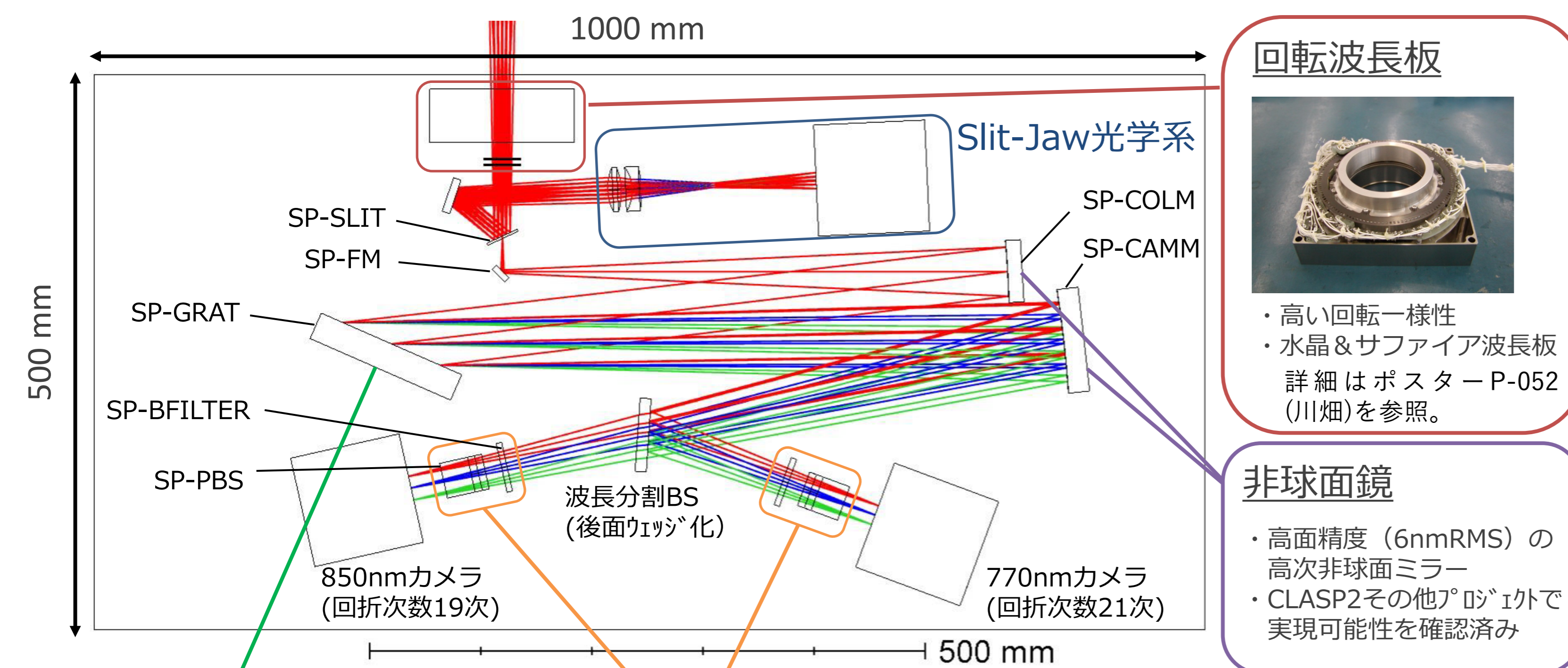


- 1) SP-FMのXYチルト調整: スリットと後段光学系の位置ズレ補正
 - 2) SP-COLMのZシフト調整: グレーティングへの入射光平行度変化補正
 - 3) SP-GRATのZチルト調整: スリット結像の回転補正
 - 4) SP-CAMMのXYチルト調整: 非球面鏡設置誤差による非点収差補正
 - 5) SP-GRATのYチルト調整: SP-COLMによるケラレ調整
 - 6) SP-PBS & SP-BFILTERのXYシフト調整: 主に4)の調整によるケラレ調整
- ※ 検出器は随時、デフォーカス、XYシフト、XYチルトの調整を実施

【光学系設計】

波面収差(設計値) 4.6 NM RMS!

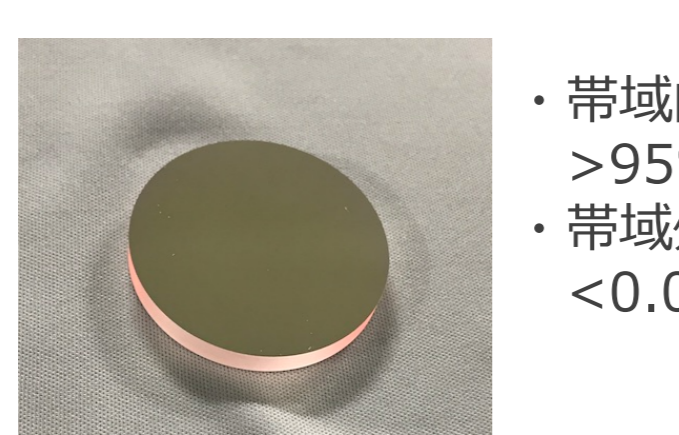
- 高波長分解能 → エッセル回折格子の **高次成分利用**
- 高空間分解能 → **2枚の非球面鏡**によるリトロ型配置、後面ウェッジ化BS
- 2波長帯同時観測 → **回折格子の最適化、波長分割ビームスプリッタ**
- 2偏光同時観測 → **水晶&サファイア回折波長板、偏光ビームスプリッタ**



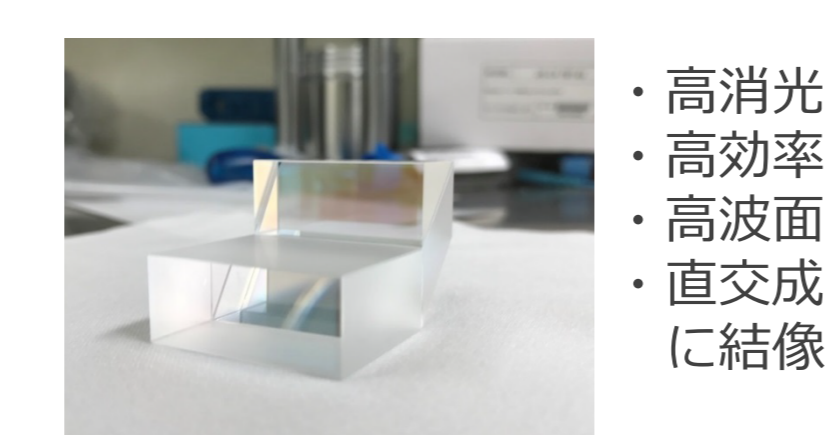
エッセル回折格子



狭帯域フィルター



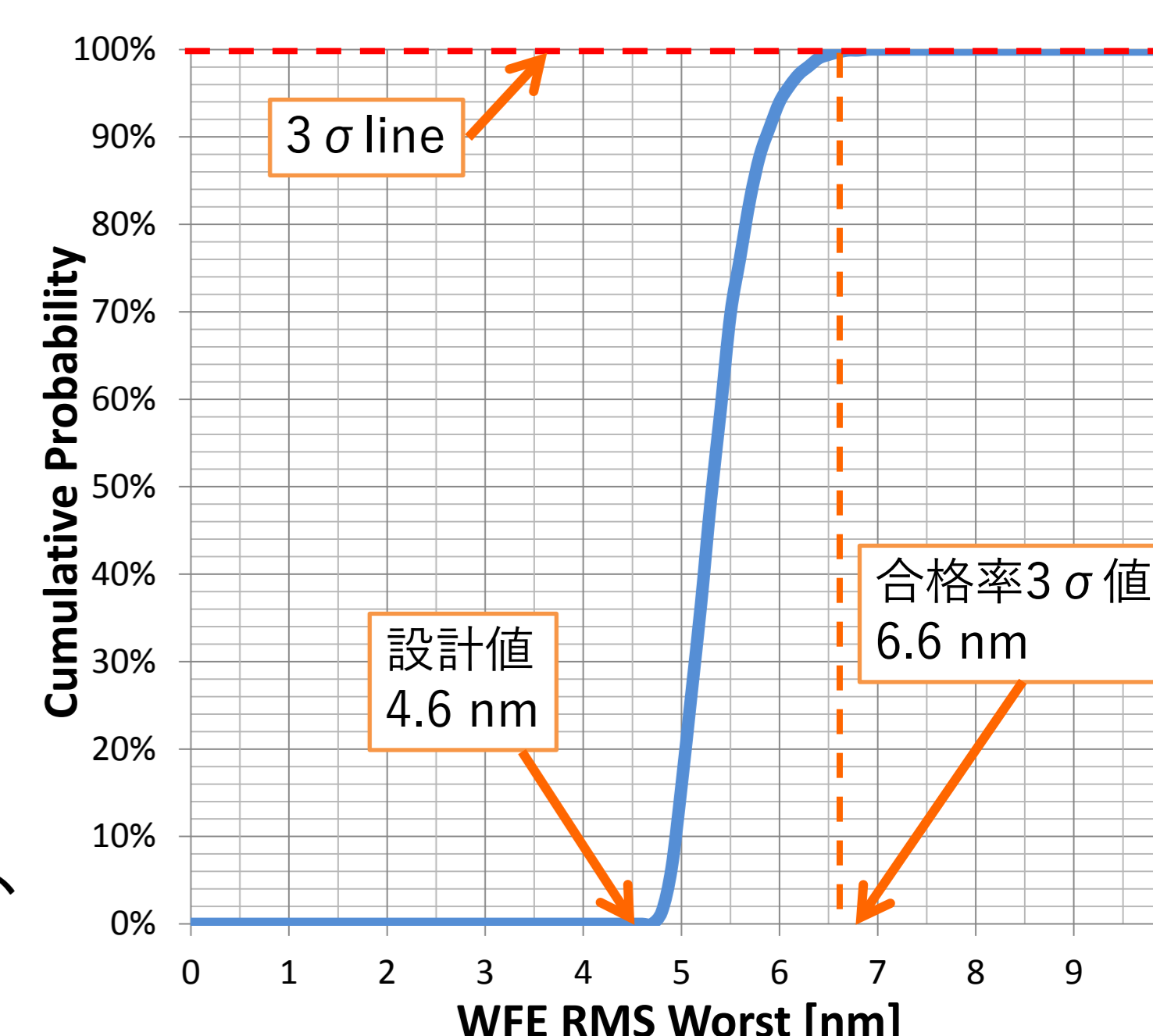
偏光ビームスプリッタ



【公差込み性能評価】

上記アライメントプランに基づき、公差込み性能での合格率をモンテカルロシミュレーションで評価。
(※ 放物分布を仮定、N = 1000)

→ 現在の公差設定、アライメントプランにおける波面収差3σ保証値は、**6.6 nm RMS**



【エラーバジェットプラン】

上記公差解析結果から、波面収差のエラーバジェットを右表のように設定。

→ 光学素子の表面形状誤差が支配的であるが、仕様値 (48nm RMS) を満たすことが可能。

項目	WFE [nm]	寄与率
設計性能	4.6	1%
光学素子の表面形状誤差	製造	37.7 63%
	保持	18.7 15%
設置誤差 (3σ)	4.7	1%
PBS内焦点ずれ起因	6.4	2%
調整ピッチ起因	9.1	4%
環境変化の影響	18.0	14%
合計 (RSS)	47.5	

環境変化の影響評価については、ポスター P-055 (浦口) を参照。

※ SCIP波面収差仕様: 48 nm RMS