

# Z209c

## JASMINE望遠鏡光学系： 変遷と現在ノミナルモデル

---

国立天文台

JASMINE Project

鹿島 伸悟

他 JASMINEチーム

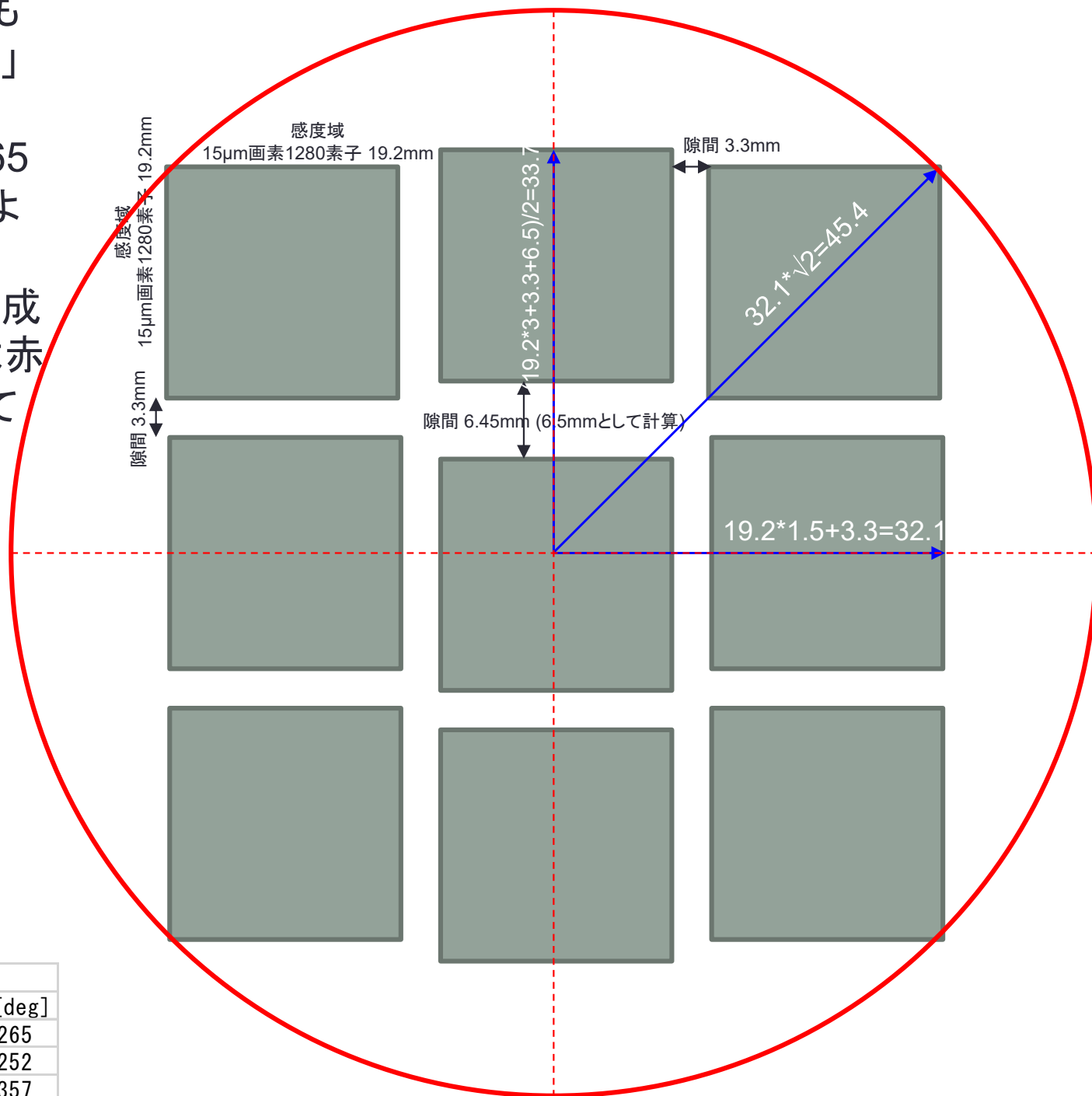
# 背景

- JASMINE望遠鏡光学系は、開発当初は口径30cmの3枚鏡(改良型コルシェタイプ)であった
- これは、カセグレンやリッチー・クレチアンに代表される2枚鏡システムでは、**原理的に像面湾曲と非点収差が補正できず、軸外の性能が著しく劣化する**からである
- JASMINEは位置天文観測を主とする望遠鏡であり、一度に撮影できる領域は広いほど良いため、画角が取れない2枚鏡は、元々候補にも挙がっていなかった
- その後、**検出器がTeledyne製のものから国産に変更**となり、それに応じて**口径が40cmへと拡大**された
- 口径が大きくなりコストが増加したため、像面を傾けることを前提に2枚鏡の検討も行ったが、あまりコストを上げることはならなかった
- そのため、やはり3枚鏡で行くことになったが、コストを下げるため、ミッションが立するギリギリまで口径を小さくし、**現在は口径36cm**となっている

# 検出器変更1

- 当初より、この分野の検出器としては**唯一無二のTeledyne H4RG**を想定していたが、**唯一無二というのはリスク**でもある
- そこで、予てより地上望遠鏡用として国立天文台で開発が行われて来た**国産検出器を宇宙用化**し、搭載する方向で開発を進めている
- 但し、H4RGとはピクセルサイズもピクセル数も異なる為、光学系の大幅な見直しが必要となる
- 具体的には、Teledyne H4RGがピクセルサイズ $10\mu\text{m}$ 、ピクセル数 $4096\times 4096$ 、開発中の国産検出器はピクセルサイズ $15\mu\text{m}$ 、ピクセル数 $1280\times 1280$ となる
- そのため、ほぼ同様の視野を得るには国産検出器を **$3\times 3=9$ 個**を並べる必要がある
- 当然、光学系の焦点距離は大幅に長くする必要があり、また、ピクセル当たりの光子数の問題で、口径も大きくする必要があるのである
- 一番簡単なのは、光学系を先端フード含めて係数倍することであるが、これでは**到底フェアリングに納まらない**ため、新規設計が必要となった

- ・3x3の配置としては色々なものが考えられるが、「対称性」を重視し、右図のようにした
- ・この時、最大半画角は0.265度となり、従来のJASMINEより少し小さくなる
- ・実際はこのような焦点面構成となるが、設計(収差補正)は赤丸で示した外接円内で行っている

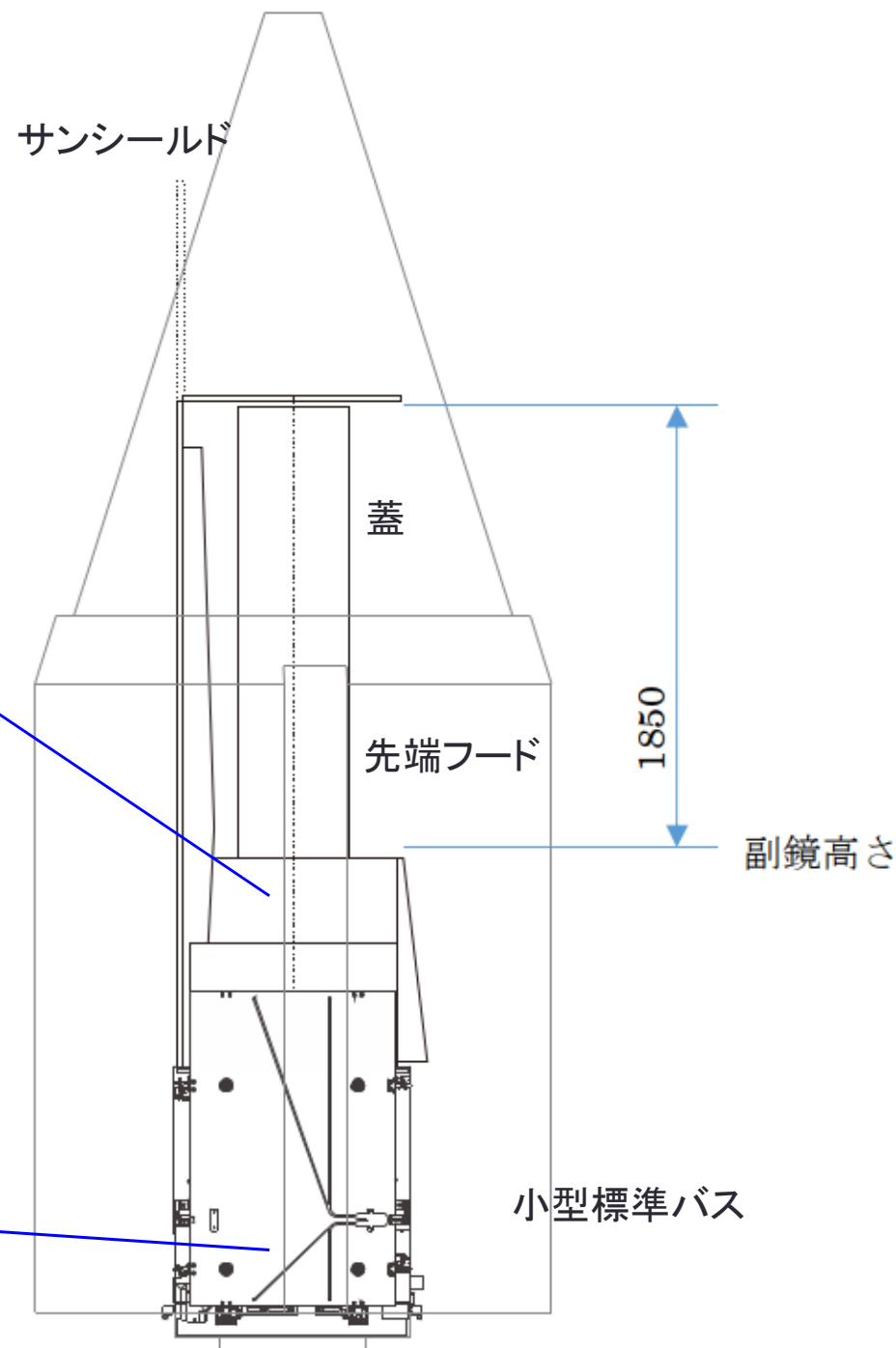
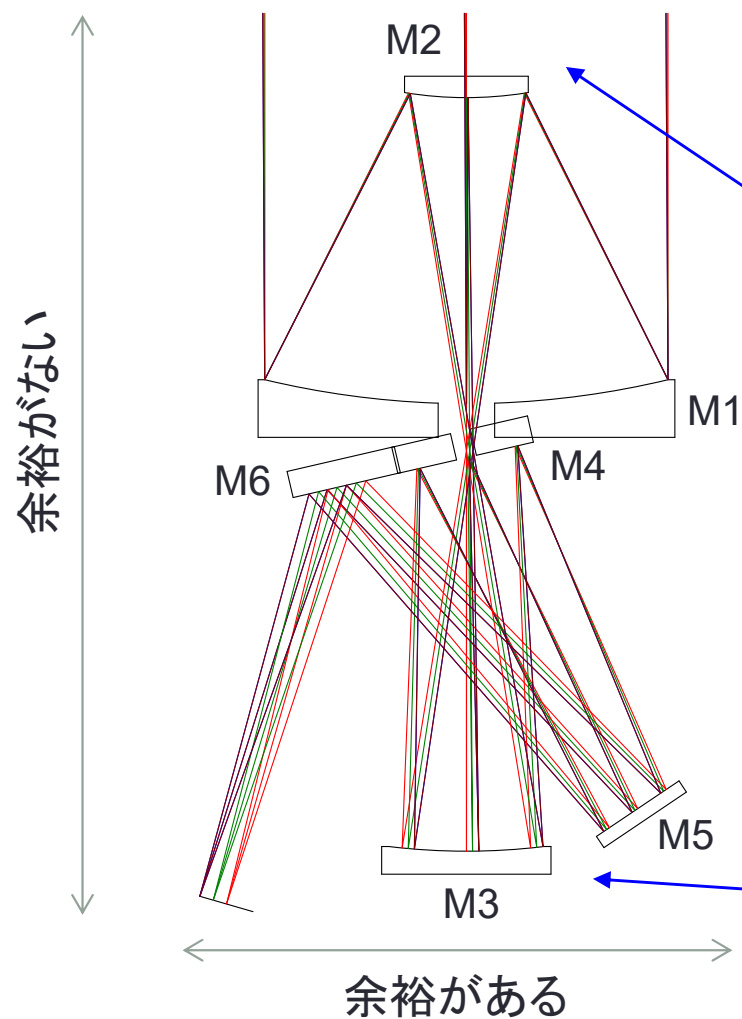


画角換算(f=7292.3)

レイアウト3				
x[mm]	y[mm]	x[deg]	y[deg]	max[deg]
0	33.7	0.000	0.265	0.265
32.1	0	0.252	0.000	0.252
32.1	32.1	0.252	0.252	0.357

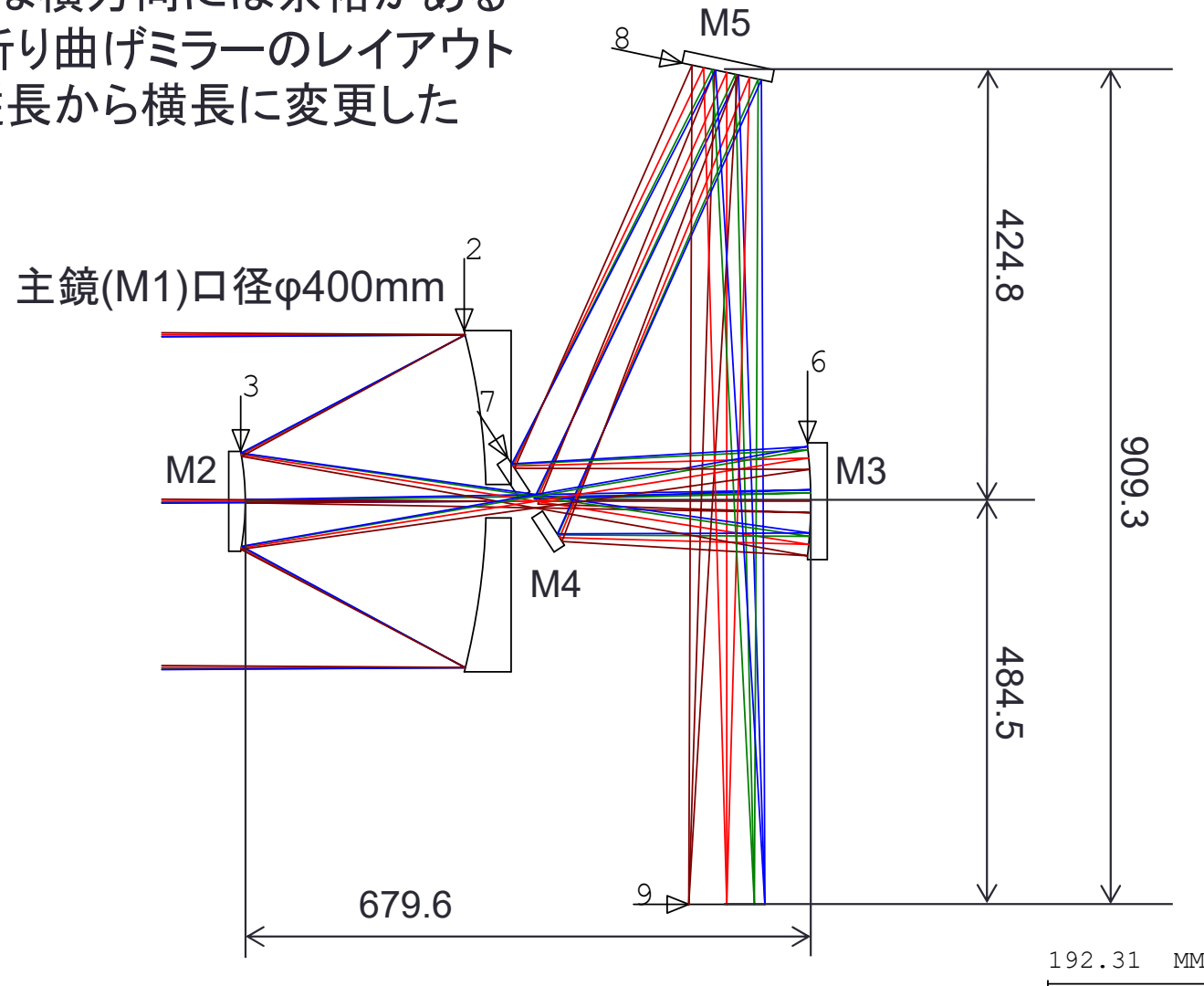
# 従来の光学系

- コニック面3面+光路折り曲げミラー3枚構成
- 高さ方向に長く、そのまま相似拡大するとフェアリングに治まらない



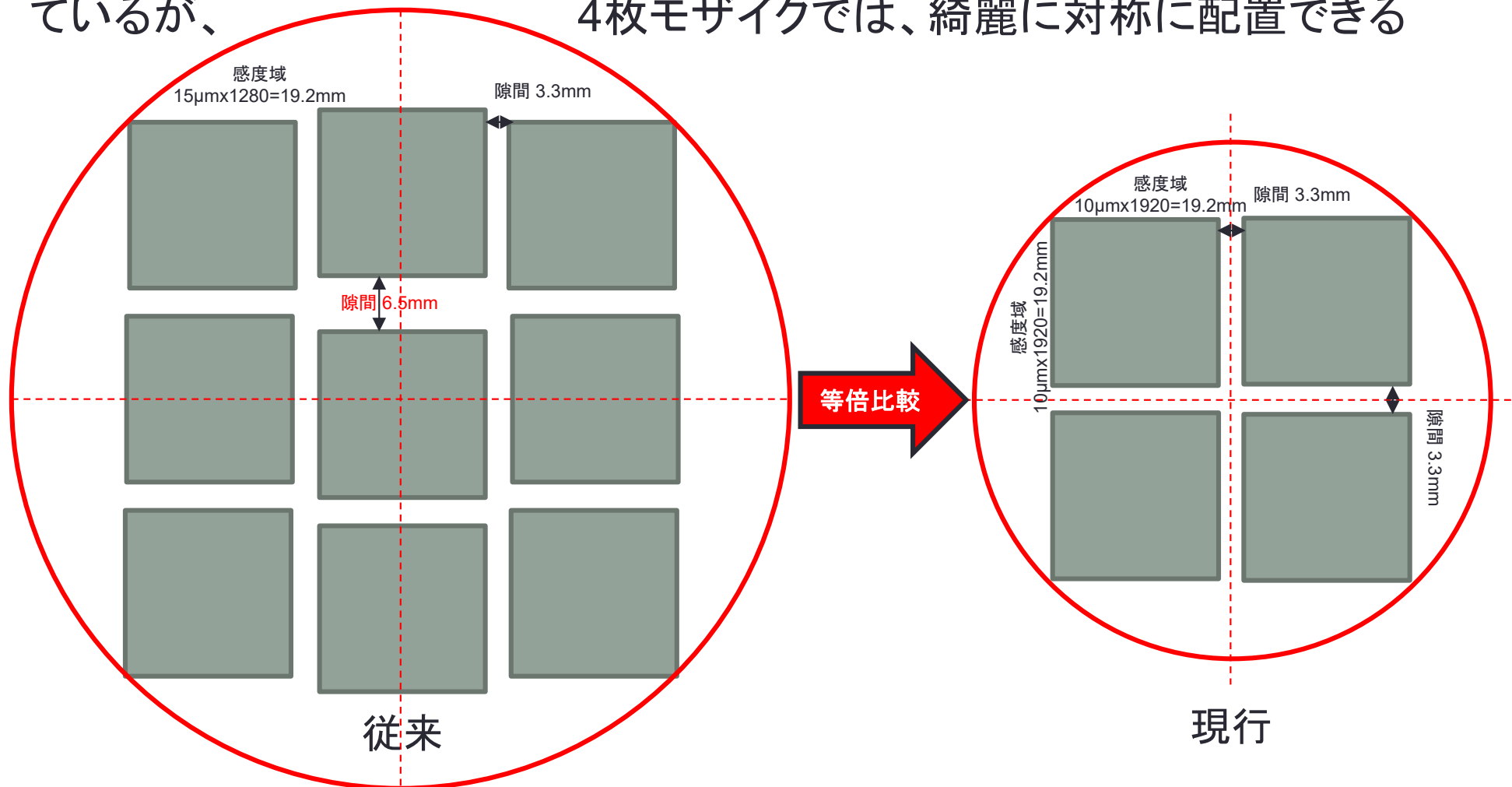
# 光学系変更1

フェアリングは横方向には余裕があるため、光路折り曲げミラーのレイアウトを変えて、縦長から横長に変更した



# 検出器変更2

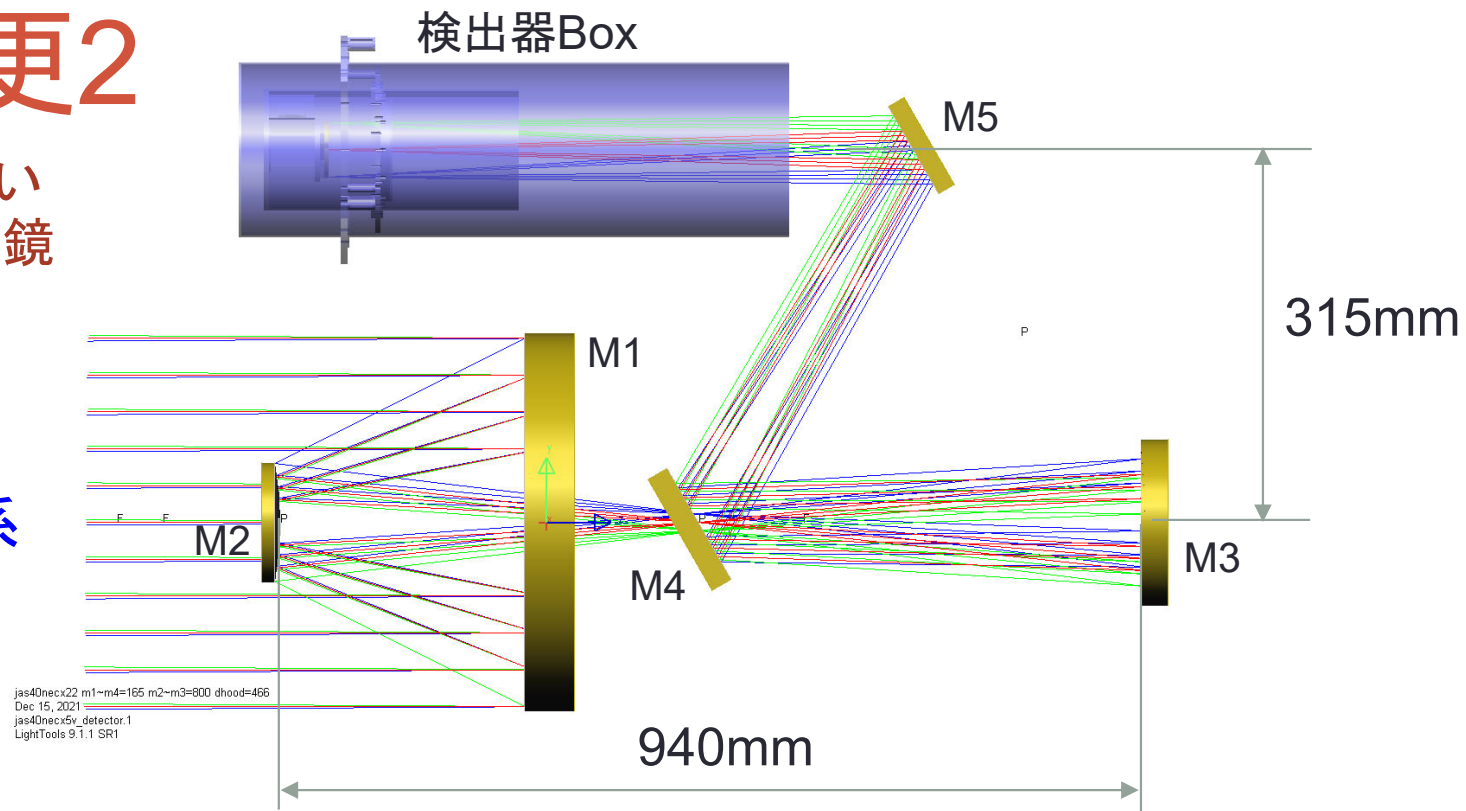
- 国産検出器の検討が進み、ピクセルサイズを $15\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ へ高精細化する目処が立ったため、下図のようにそのレイアウトも変更となった
- 9枚モザイクでは、中央の検出器の電極の関係で1カ所だけ隙間が大きくなっているが、  
4枚モザイクでは、綺麗に対称に配置できる



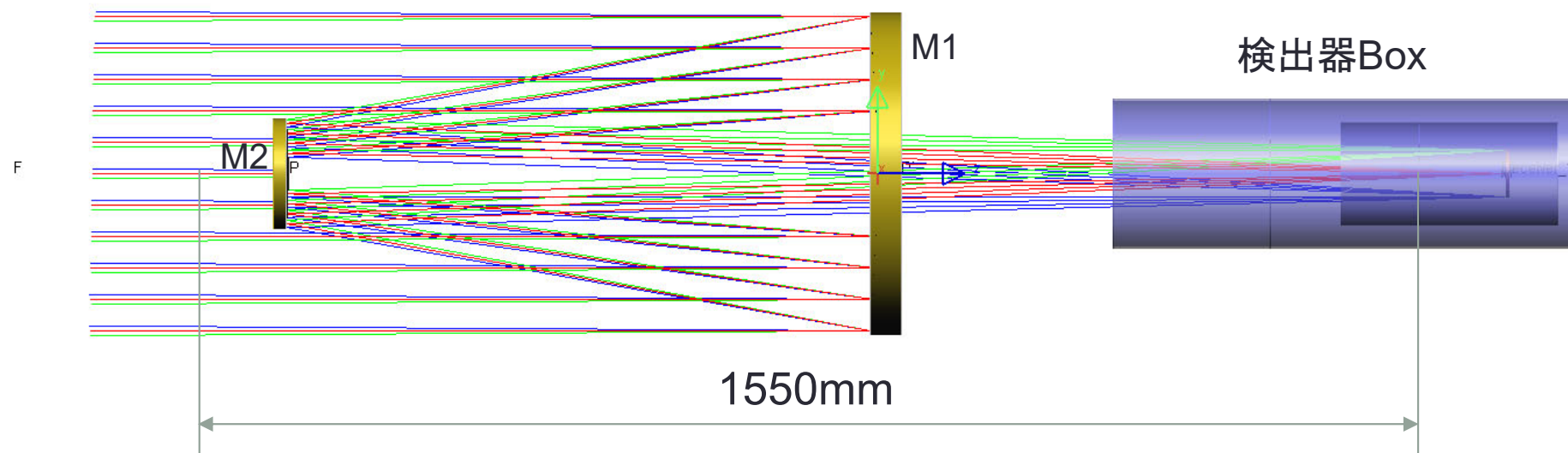
# 光学系変更2

★コストダウンを狙い  
極力シンプルな2枚鏡  
光学系も検討した

3枚鏡光学系



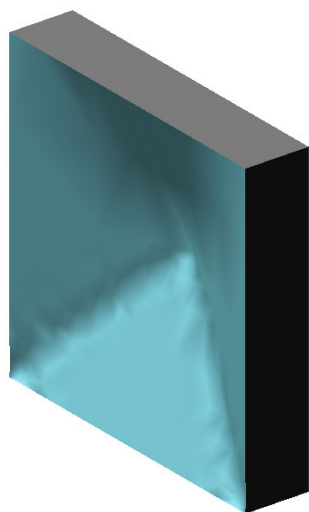
2枚鏡光学系





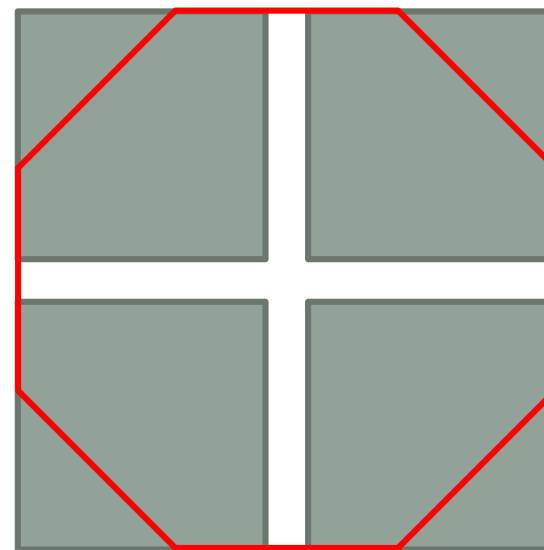
## 2枚鏡の像面：像面湾曲の相殺

- 前述のように、2枚鏡システムでは原理的に像面湾曲が補正できないため、**4枚の検出器をピラミッド状に配置**することを考えている
- 像面湾曲は大凡球面となるため、像面を球面にできれば相殺できるが、それは不可能であるため、せめて90度対称に4個の検出器を傾け、像面湾曲に対する平均像面にするということである
- ただ、これを行っても、**非点収差と像面湾曲の残渣は残り、どうしても4隅は所望の性能にできない**ため、正8角形的な範囲で性能が出ていれば良しとした
- ピラミッド形状に関しては、CodeVのユーザ定義面という機能を用いて**4角錐面**を作成し、これを用いてモデリングした



4角錐面

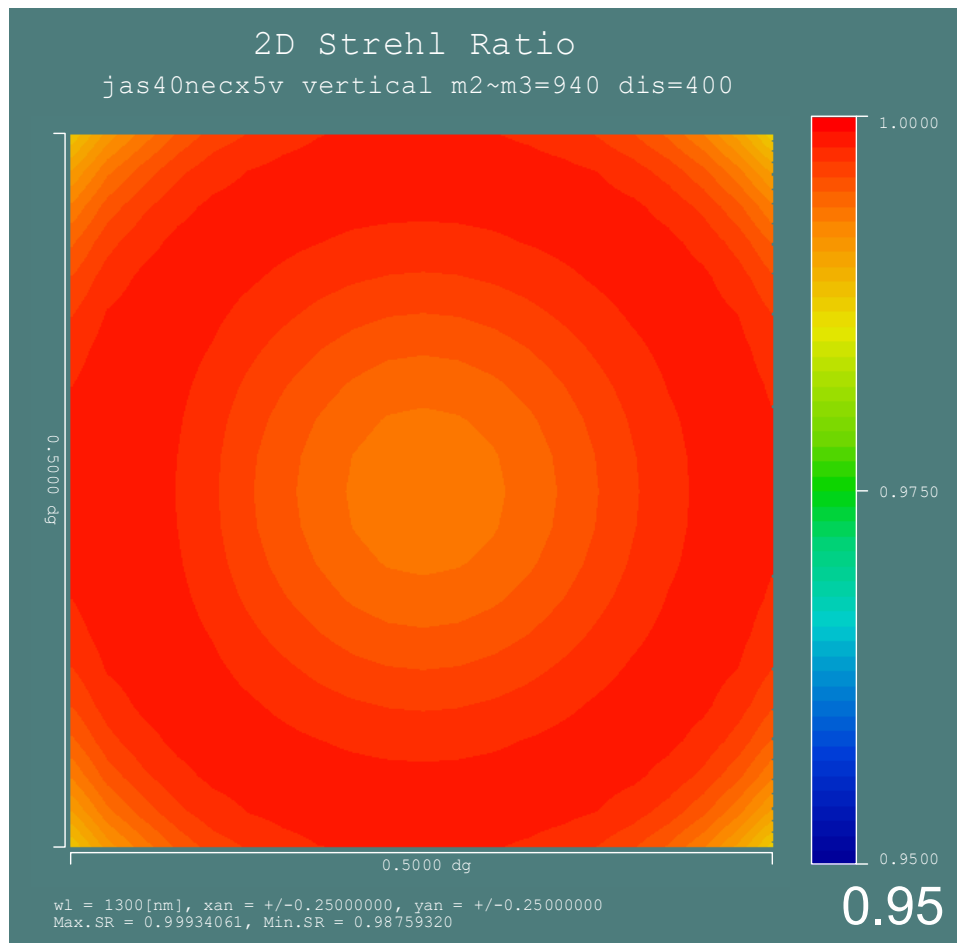
実際の角度は  
2度程度



正8角形視野

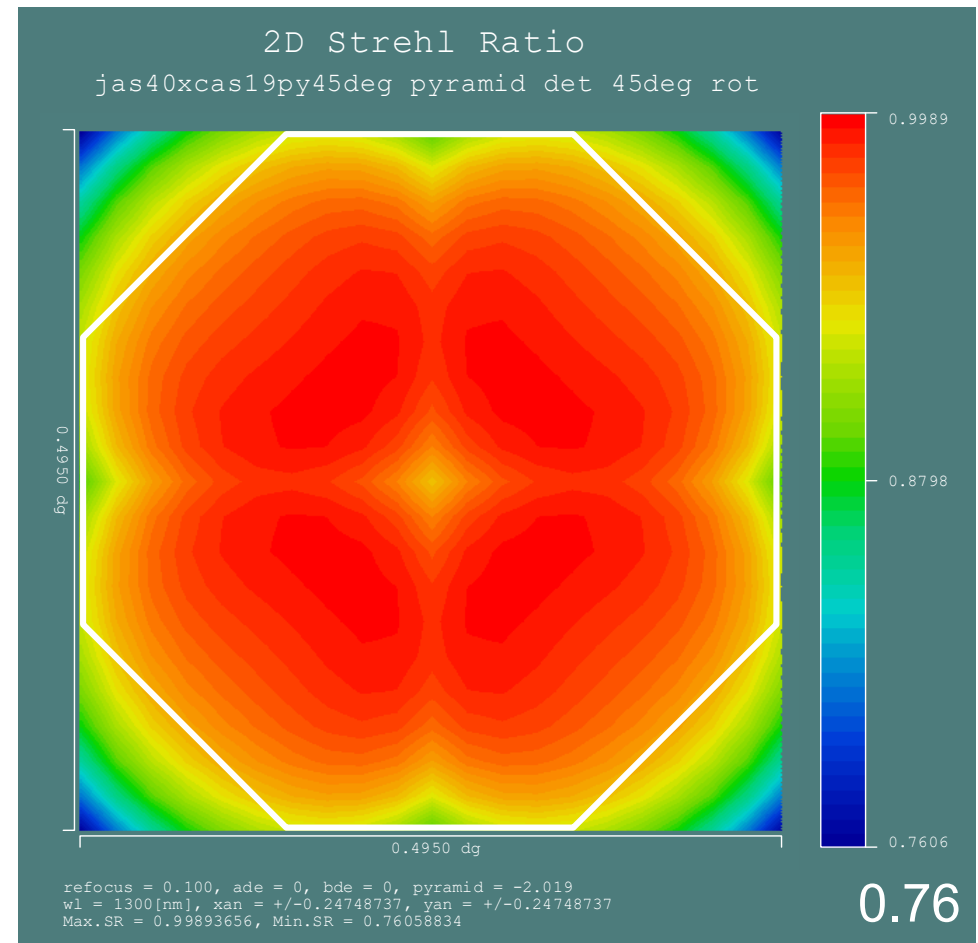
# 波面収差比較

3枚鏡ストレール比  
検出器全面でSR $\geq$ 0.99



設計値では回転対称

2枚鏡ストレール比  
正八角形内でSR $\geq$ 0.85  
(4隅はSR0.76)



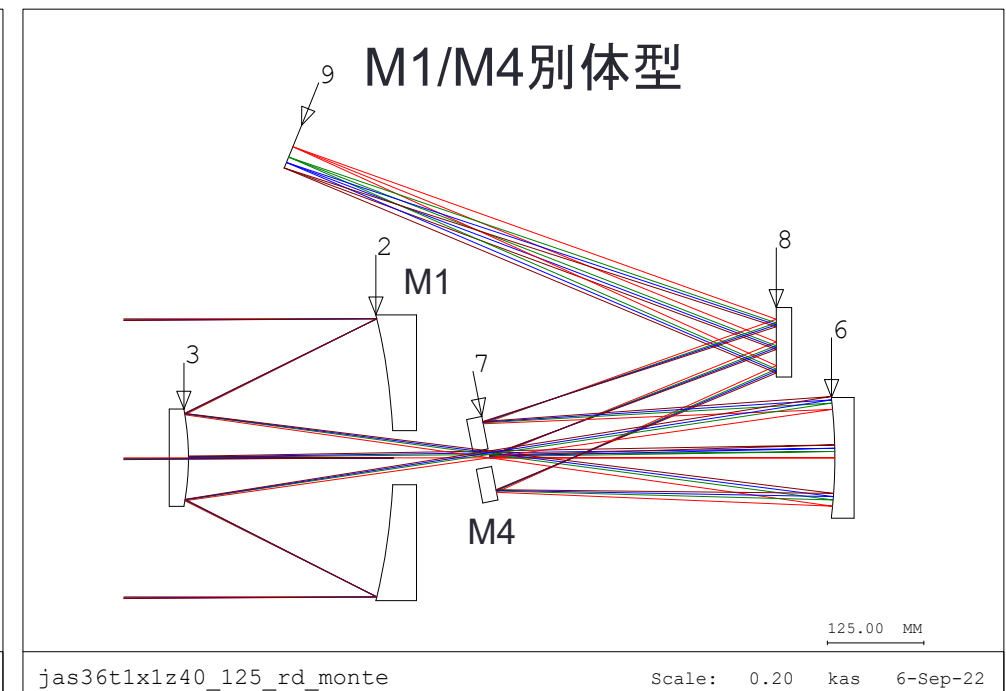
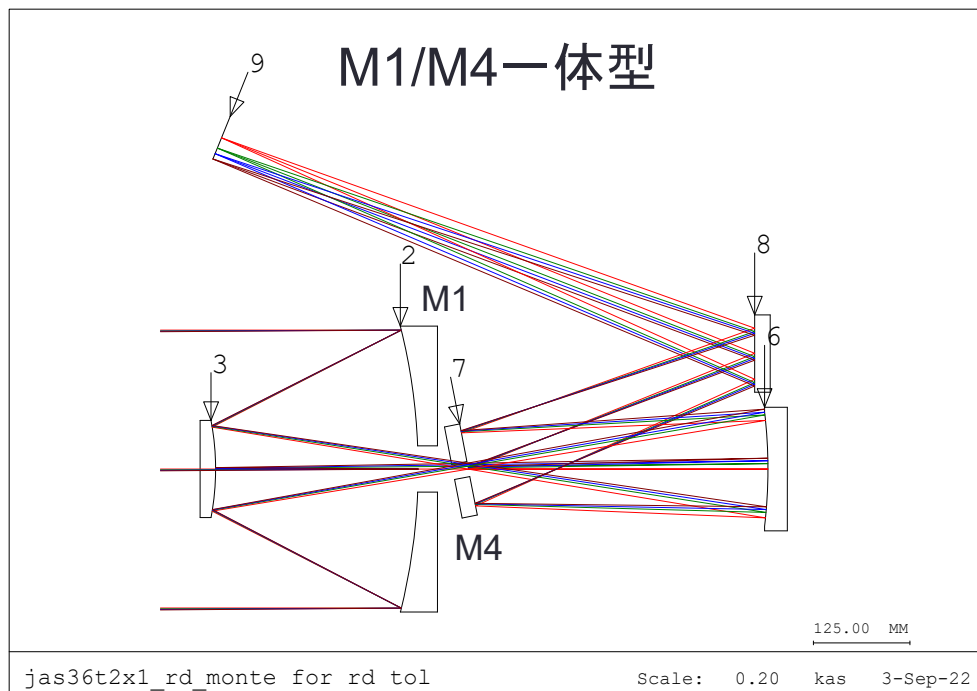
設計値でも方向性をもつ

## 2枚鏡のコスト

- ミラー枚数が5枚から2枚に減るため、**ミラー製造費はかなり安くなるが**、全体の中でミラー製造費が締める割合は大きくない
- コストに効くのは、組み立て調整・測定等に関する工数である
- 但し、組み立て調整でドミナントになるのは、パワーのあるミラーだけであり、その点では3枚から2枚にしか減っていない
- 且つ、2枚鏡では、像面湾曲を相殺するため、検出器がピラミッド状に配置されるが、この時、その頂点位置を光学系の光軸(中心)位置に精度良く合わせる必要がある
- また、像面がフラットな3枚鏡に比べて、検出器の傾きにも敏感である
- 更に、軸外性能を干渉計等で測定する際、画角(像高)に応じて像位置をずらす必要があり、**非常に煩雑且つ高精度な制御が必要**となる
- これらの理由により、メーカーでのコスト見積もりで、**2枚鏡にほとんどコストメリットがなかった**
- そうであれば、わざわざ性能の悪い2枚鏡を採用する理由はないため、当初の3枚鏡に立ち返った

# 光学系変更3

- 前述のように、コストダウンのため口径は36cmに縮小した
- また、M1とM4を一体化して、組立調整費用を抑える案も再浮上したため、M1/M4一体型・別体型の2種類を設計した
- 一体型は主鏡ユニットの製造は若干難しくコストアップするが、組立工数が減ると思われるため、全体としてはコストダウンする可能性がある
- 但し、正確にはメーカーでの見積もり検討結果を待つ必要がある



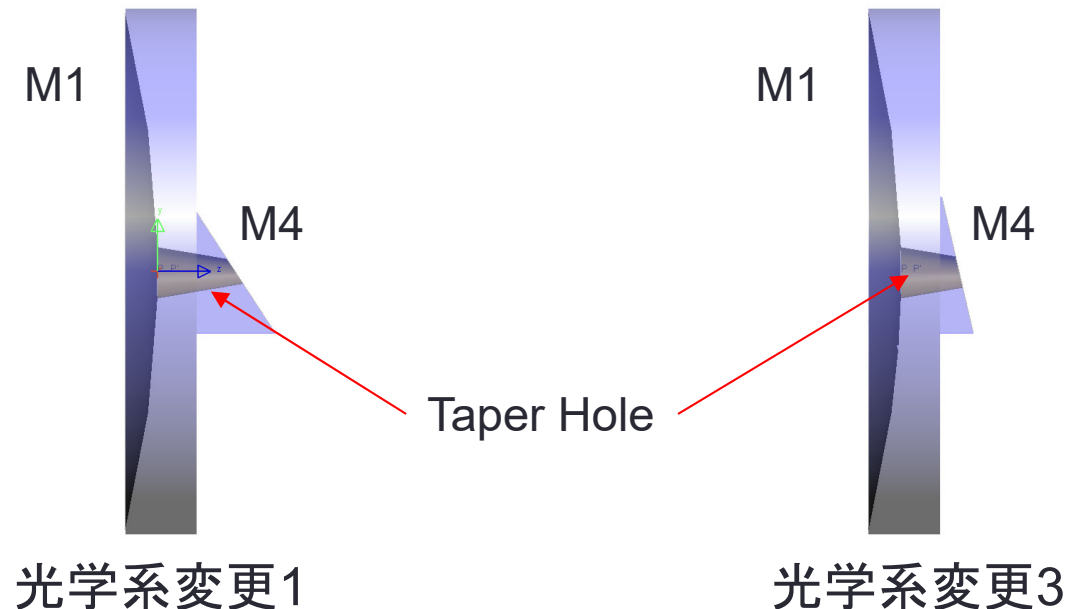
# 一体型と別体型のトレードオフ

- コストに関してはメーカー検討待ちであるため、光学性能に関するトレードオフを下記する
- マイナス要因を赤字にしたが、明らかに一体型の方が良好である
- 補遺で後述するが、一体型の主鏡ユニットも、従来より製造しやすい形状に変更しており、若干のコスト増だけで製造は可能と考えているため、もちろん全体のコスト次第であるが、一体型をノミナルにしたいと考えている

項目	一体型	別体型
設計性能	ほぼ全視野でSR=1	SR>0.99
副鏡による遮蔽率	0.35	0.35
M4の穴による影響	問題無し	光線とのクリアランスが厳しい
製造公差	別体型より少し緩い	一体型より少しきつい
M1/M4製造	難しい	問題無し
地球直達迷光	問題無し	問題無し
バルジダイレクト迷光	問題無し	若干漏れこむ可能性あり
地球散乱迷光	問題無し	問題無し

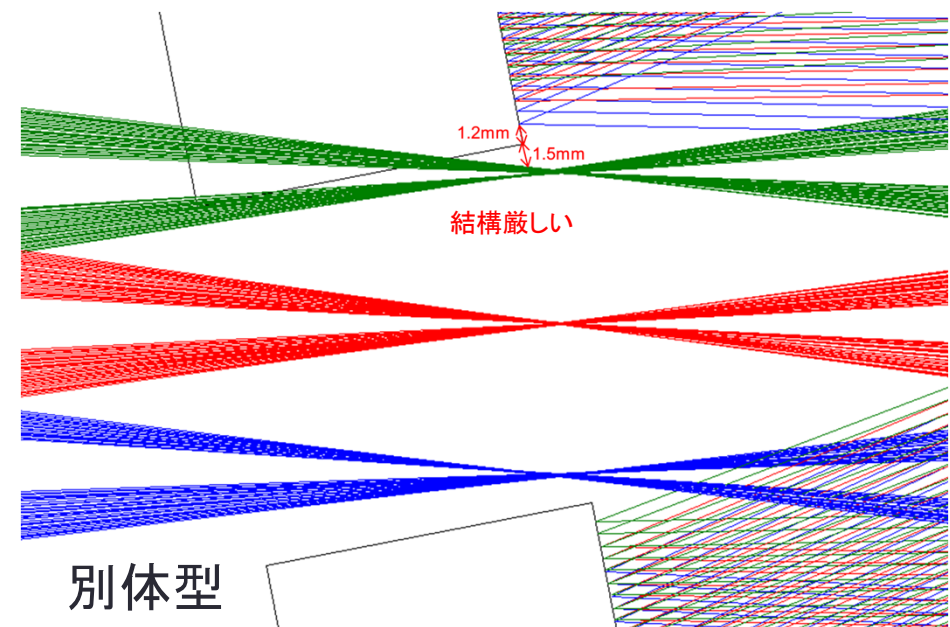
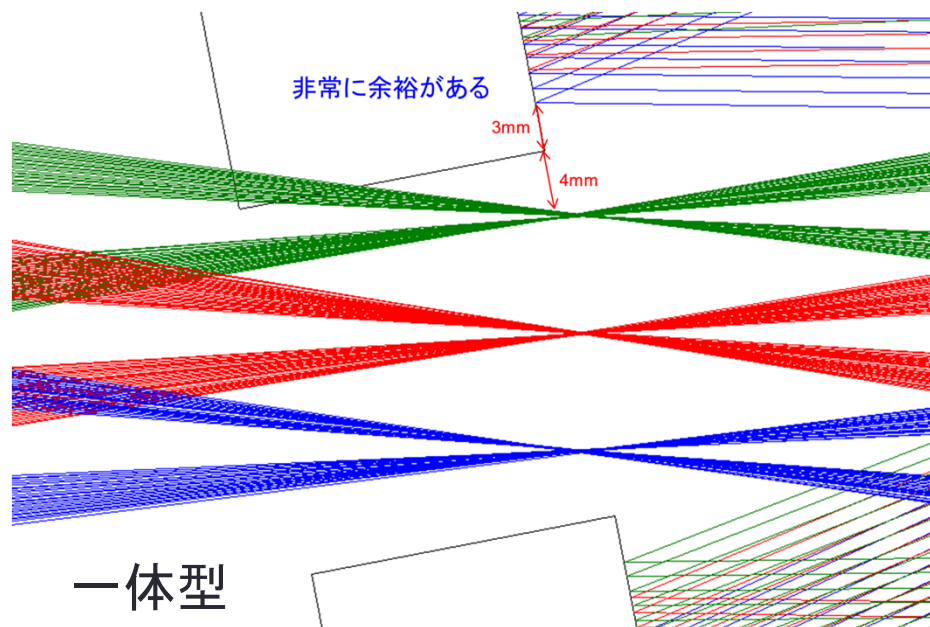
# 補遺1:M1/M4ユニット

- 光学系変更1のM1/M4ユニットと光学系変更3のそれとの比較図を下記する
- 1の方では、M4に相当する反射面の角度が大きくなっているが、3ではかなり小さくなっていることが分かる
- 容易に想像が付くと思うが、**製造上はできるだけこの角度が小さく、突出していない方が作りやすい**
- 但し、このユニット全体として、中央部に光束が通る穴を開ける必要があり、遮蔽率及び迷光回避の観点からM4の穴はできるだけ小さい方が良いため、穴もテーパ状のものとなり、この観点でも一体ユニットは製造が難しくなる



# 補遺2:M4穴のクリアランス

- 下図は、一体型と別体型のM4穴部分の光路拡大図である
- 別体型は、主鏡と副鏡による集光位置を主鏡から遠ざける必要があるため、どうしても投影倍率が大きくなり、有効径も大きくなる
- そのため、穴の径も大きくなり、M3で反射した光束の内側光線とのクリアランスが小さくなる
- 穴が小さいと光束を蹴ってしまう可能性があり、一方穴近傍の反射面は面精度を出しにくいいため、このクリアランスがあまり小さいと問題となる
- 更に、穴が大きいと迷光が増えるという副次問題もある





# 補遺3: 遮蔽を考慮した光路図

