

LiteBIRD 光学系のシミュレーションによる光学性能の評価

今田 大皓, 松村 知岳 (ISAS/JAXA), 菅井 肇, 鹿島 伸悟, 桜井 雄基 (IPMU),
関本 裕太郎 (NAOJ), 石野 宏和 (岡山大学), 永田 竜 (KEK), 木村 公洋,
井上 将徳, 伊藤 誠 (大阪府立大学), 西堀 俊幸 (JAXA)



はじめに

❖ LiteBIRD

- 。インフレーション仮説の検証を目的とした衛星

- ✓ CMB の偏光観測 ($2 \leq \ell \leq 200$)

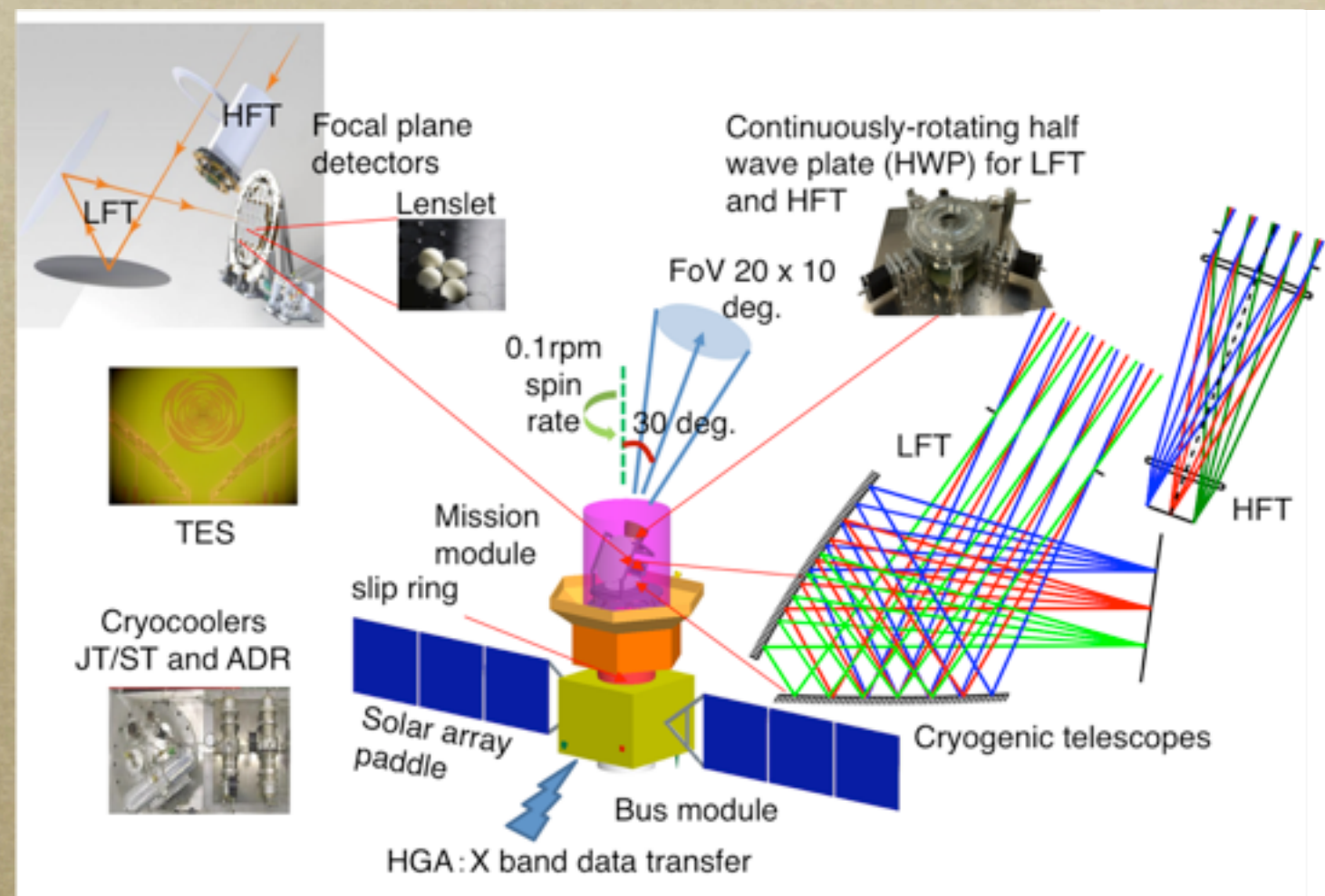
❖ ミッション要求 $\delta r < 0.001$

- 。系統誤差のうち、光学系由来のものの評価

❖ Low Frequency Telescope (LFT)

- 。物理光学による評価

- ✓ ただし、今回の発表では半波長板を考慮しない

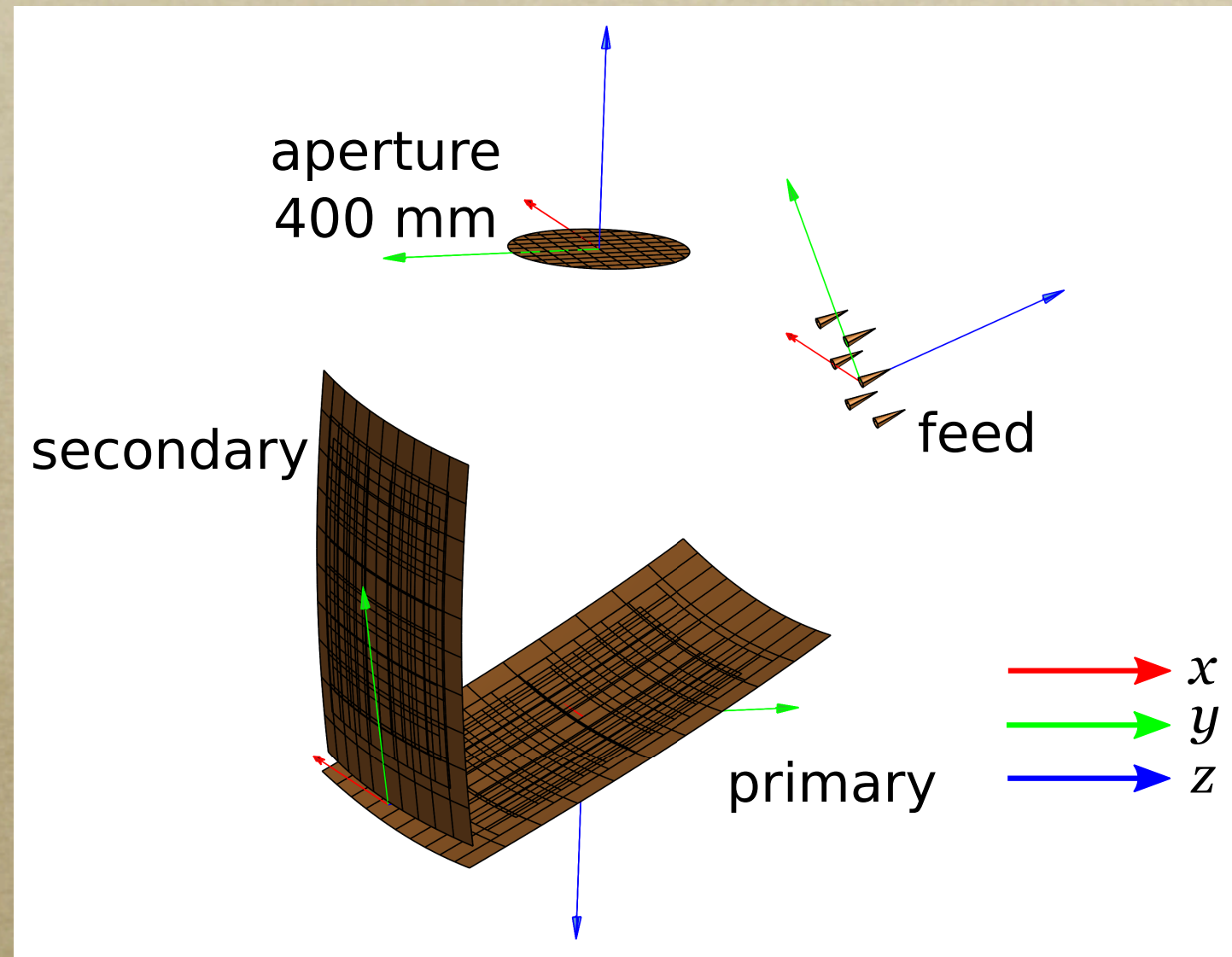


LiteBIRD 概念検討書より

LFT 光学系の概要

❖ Crossed-Dragon 望遠鏡

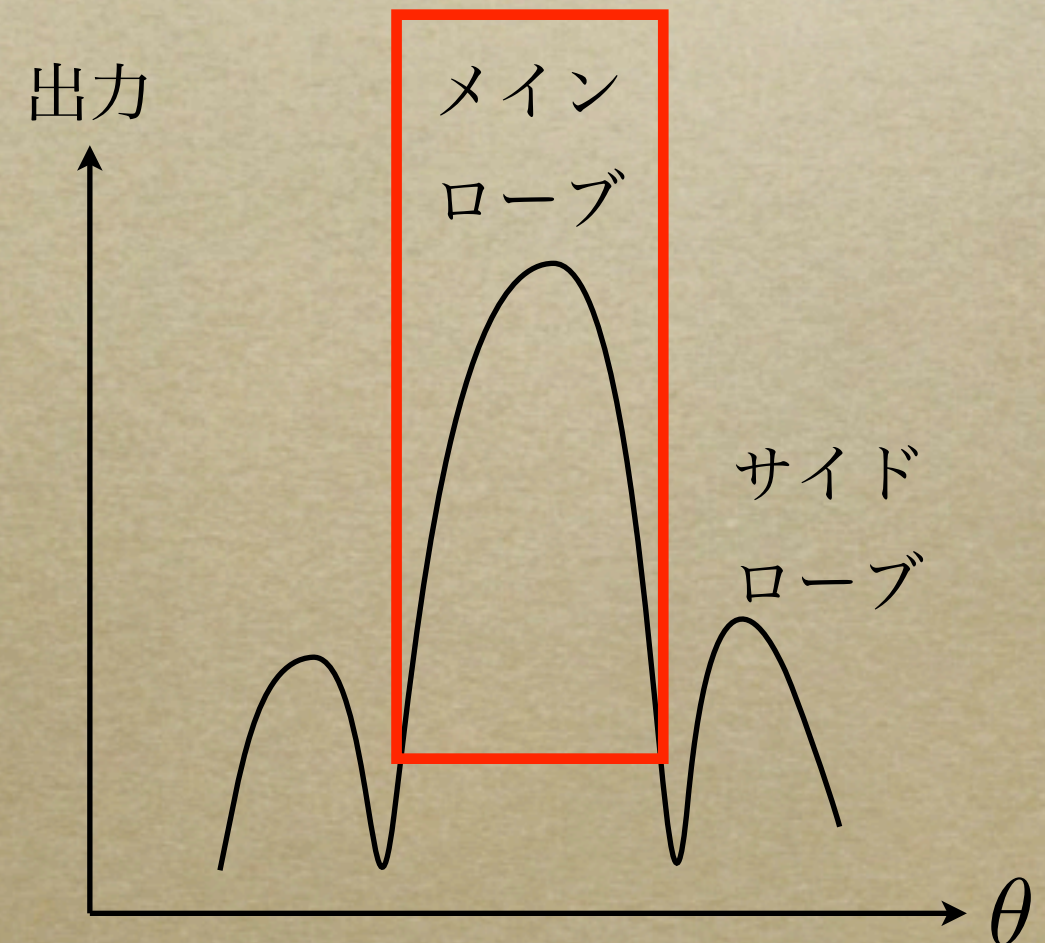
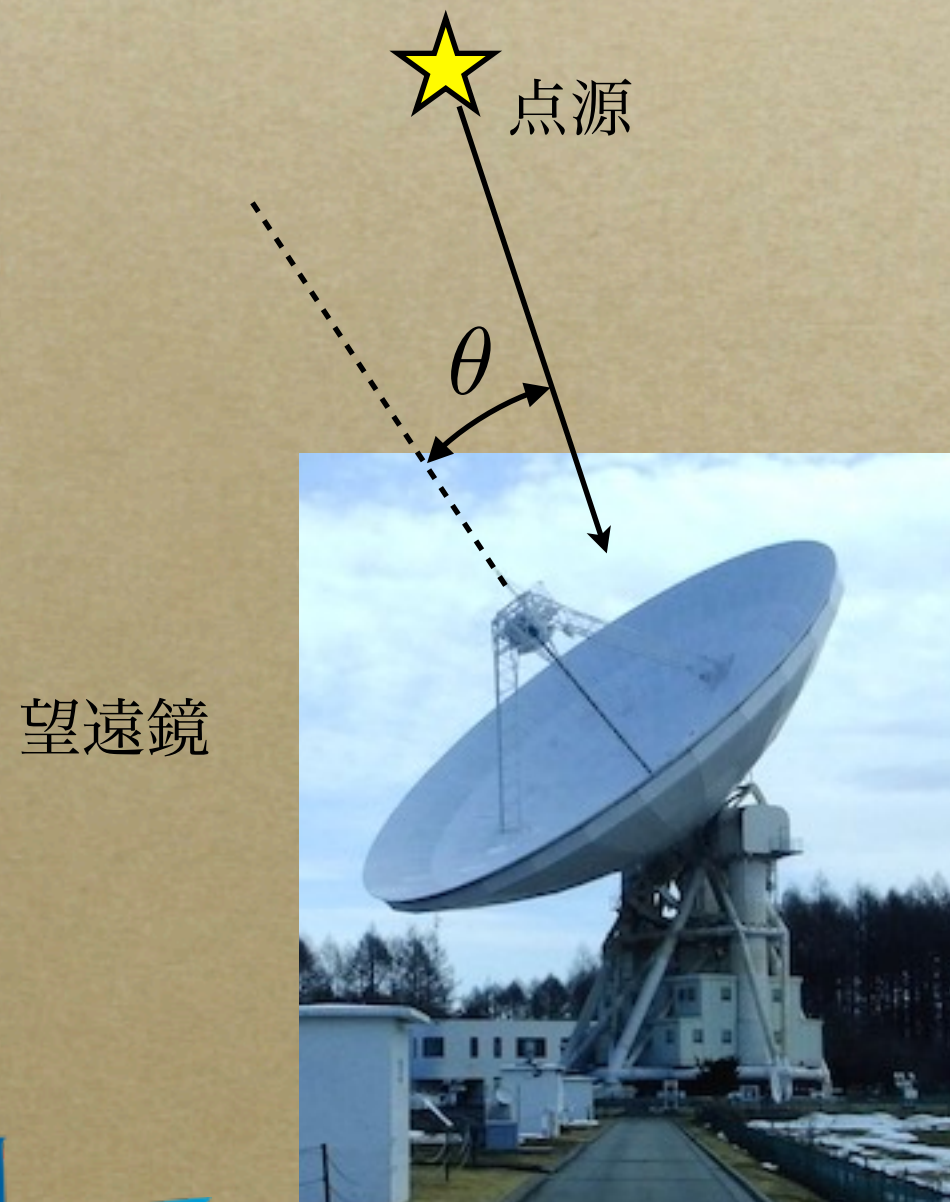
- 。 開口径 400 mm, F/3.5
- 。 光線追跡(ベース)で得た解
 - ✓ 視野 20 deg. × 10 deg.
- 。 面形状
 - ✓ アナモルフィック非球面
 - 10 次までの補正項
- 。 サイズ (検討中)
 - ✓ 主鏡 : 682 mm × 514 mm
 - ✓ 副鏡 : 710 mm × 566 mm



光学性能の指標

❖ ビームパターン

。明るさが一定の点源に対する出力を点源の置かれた方向の関数として描いたもの



系統誤差の項目とその要求値

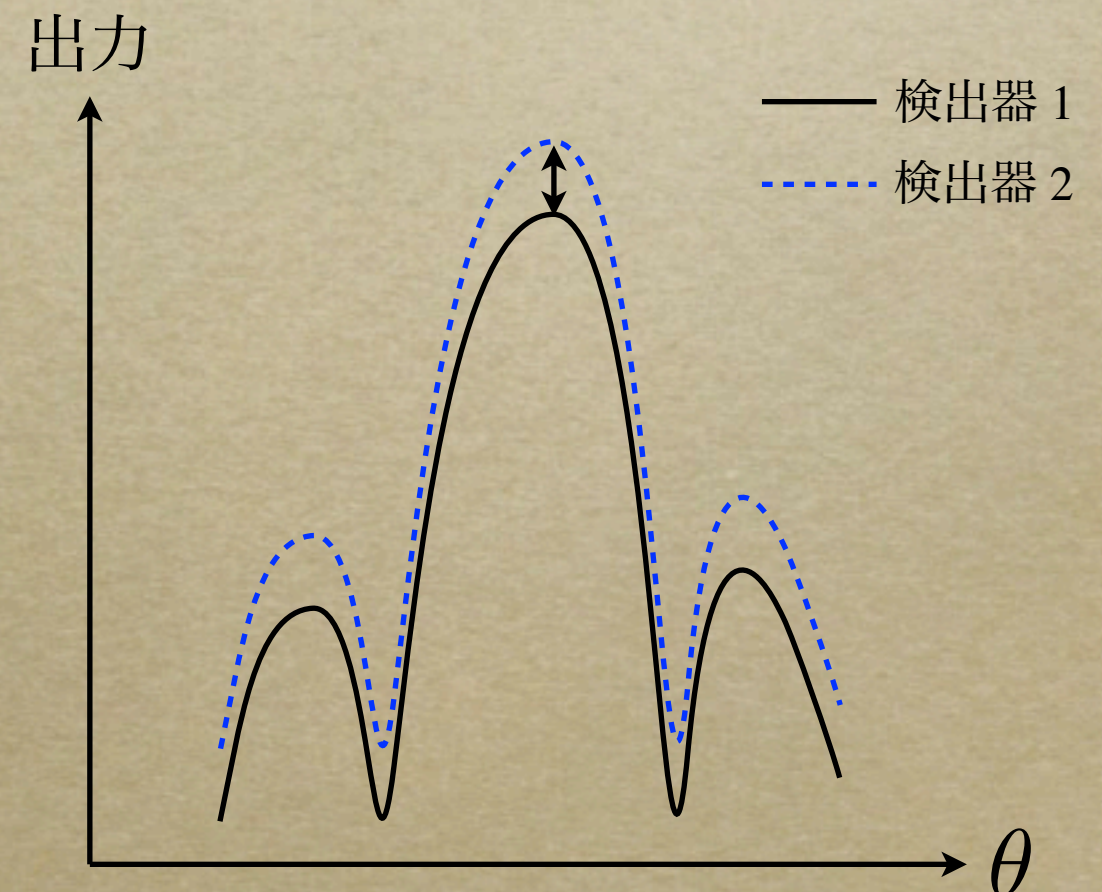
❖ メインローブに関する項目 (LiteBIRD 概念検討書より)

。 同じ位置の検出器のペア間に発生しうる系統誤差

✓ ペア間で感度のある偏光の向きが異なり、両者の差をとる

✓ 重力レンズ B モードの振幅の 1% に相当する

項目	要求値	備考
利得	$< 2 \times 10^{-5}$	$\ell = 2$
指向方向	$< 2''$	$\ell = 200$
ビーム幅	$< 2 \times 10^{-3}$	$\ell = 200$
扁平率	$< 4 \times 10^{-4}$	$\ell = 200$



系統誤差の項目とその要求値

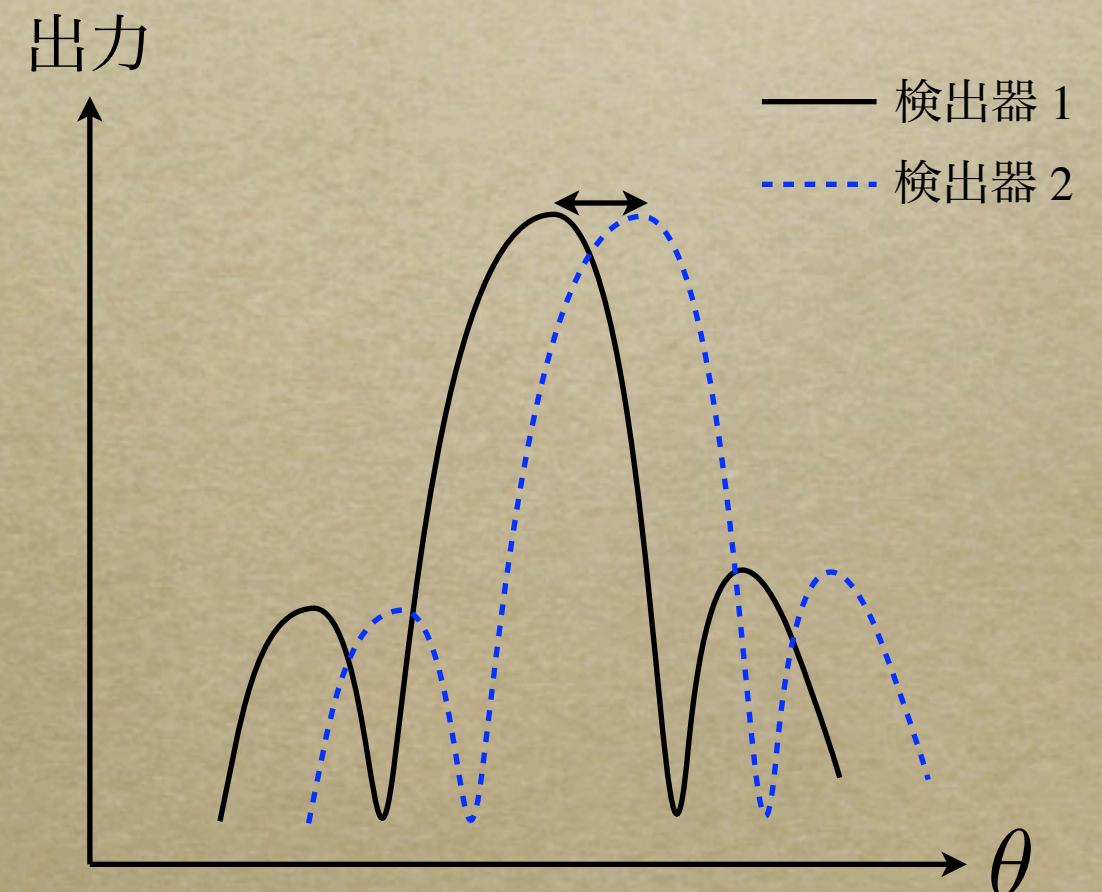
❖ メインローブに関する項目 (LiteBIRD 概念検討書より)

。 同じ位置の検出器のペア間に発生しうる系統誤差

✓ ペア間で感度のある偏光の向きが異なり、両者の差をとる

✓ 重力レンズ B モードの振幅の 1% に相当する

項目	要求値	備考
利得	$< 2 \times 10^{-5}$	$\ell = 2$
指向方向	$< 2''$	$\ell = 200$
ビーム幅	$< 2 \times 10^{-3}$	$\ell = 200$
扁平率	$< 4 \times 10^{-4}$	$\ell = 200$



系統誤差の項目とその要求値

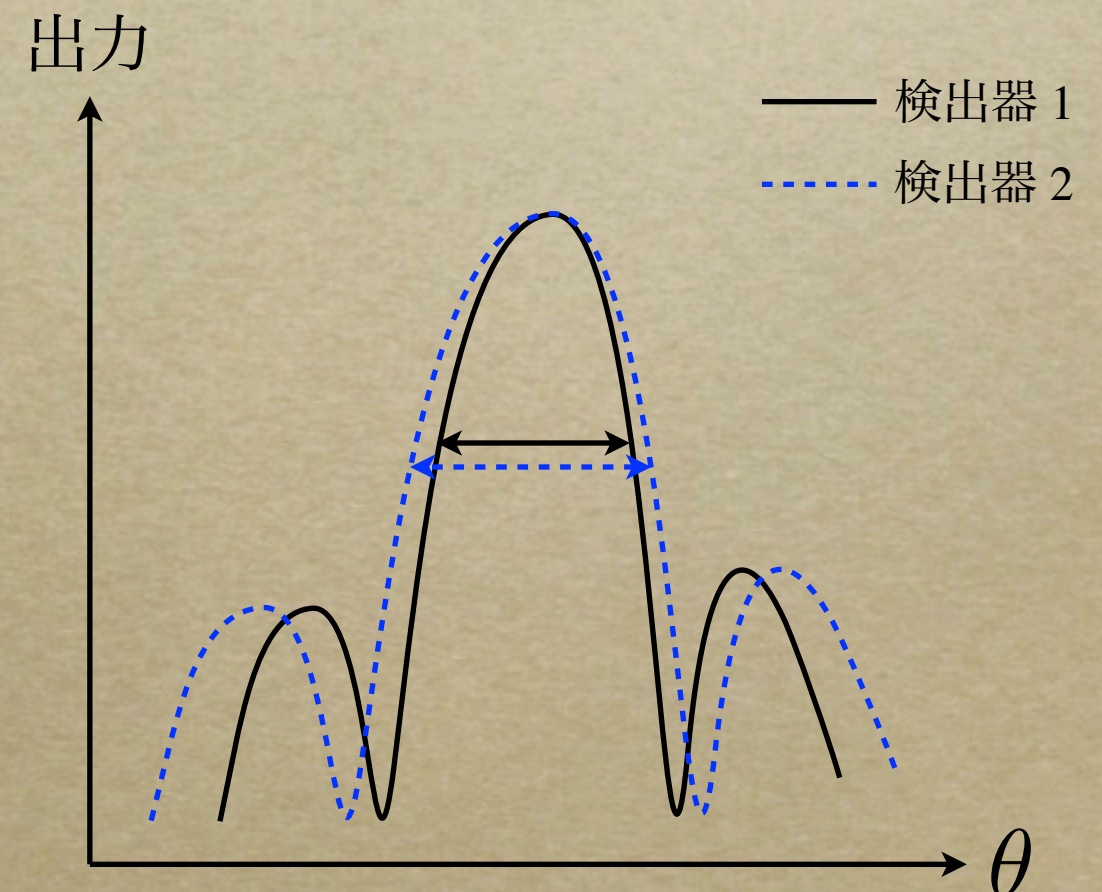
❖ メインローブに関する項目 (LiteBIRD 概念検討書より)

。 同じ位置の検出器のペア間に発生しうる系統誤差

✓ ペア間で感度のある偏光の向きが異なり、両者の差をとる

✓ 重力レンズ B モードの振幅の 1% に相当する

項目	要求値	備考
利得	$< 2 \times 10^{-5}$	$\ell = 2$
指向方向	$< 2''$	$\ell = 200$
ビーム幅	$< 2 \times 10^{-3}$	$\ell = 200$
扁平率	$< 4 \times 10^{-4}$	$\ell = 200$



系統誤差の項目とその要求値

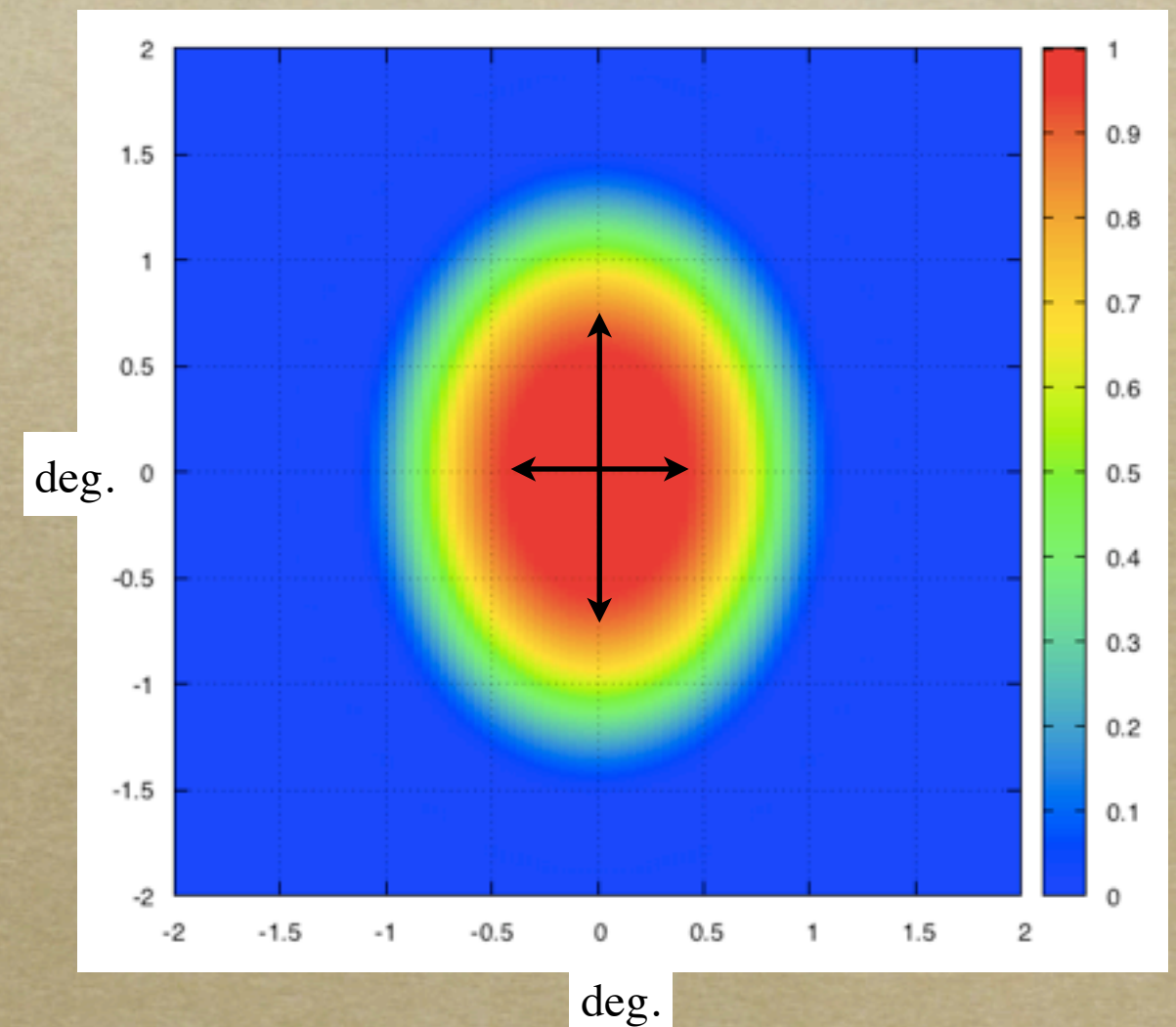
❖ メインローブに関する項目 (LiteBIRD 概念検討書より)

。 同じ位置の検出器のペア間に発生しうる系統誤差

✓ ペア間で感度のある偏光の向きが異なり、両者の差をとる

✓ 重力レンズ B モードの振幅の 1% に相当する

項目	要求値	備考
利得	$< 2 \times 10^{-5}$	$\ell = 2$
指向方向	$< 2''$	$\ell = 200$
ビーム幅	$< 2 \times 10^{-3}$	$\ell = 200$
扁平率	$< 4 \times 10^{-4}$	$\ell = 200$



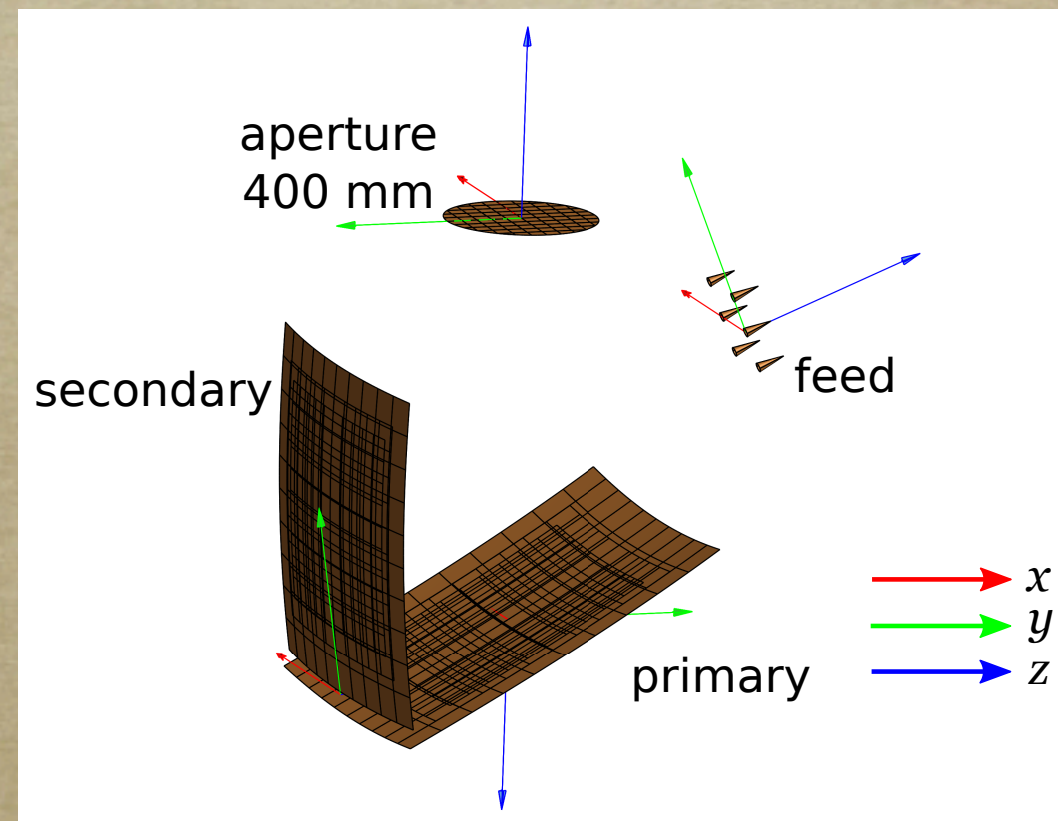
GRASP によるビームパターンの計算

❖ フィード

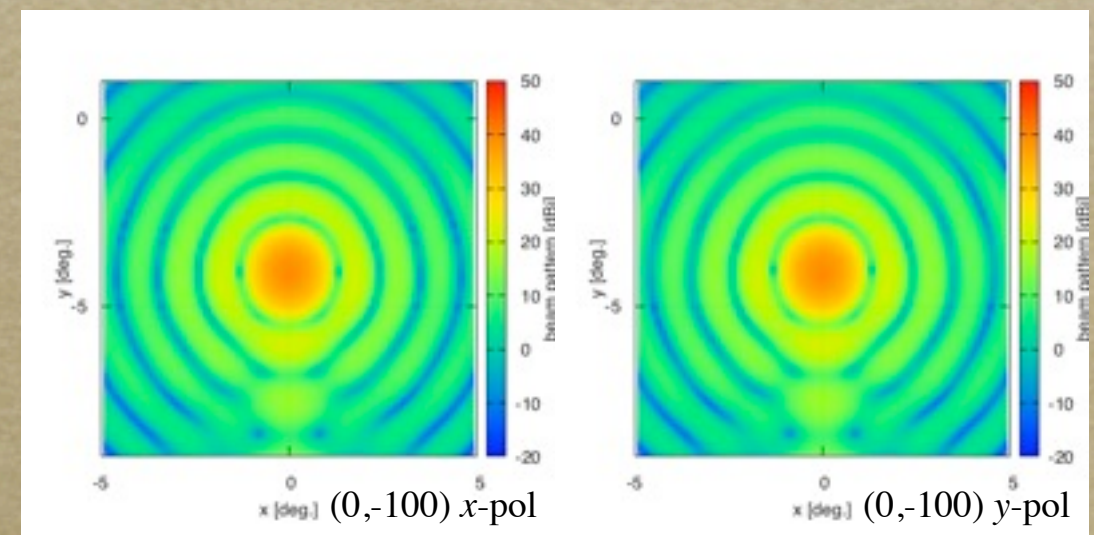
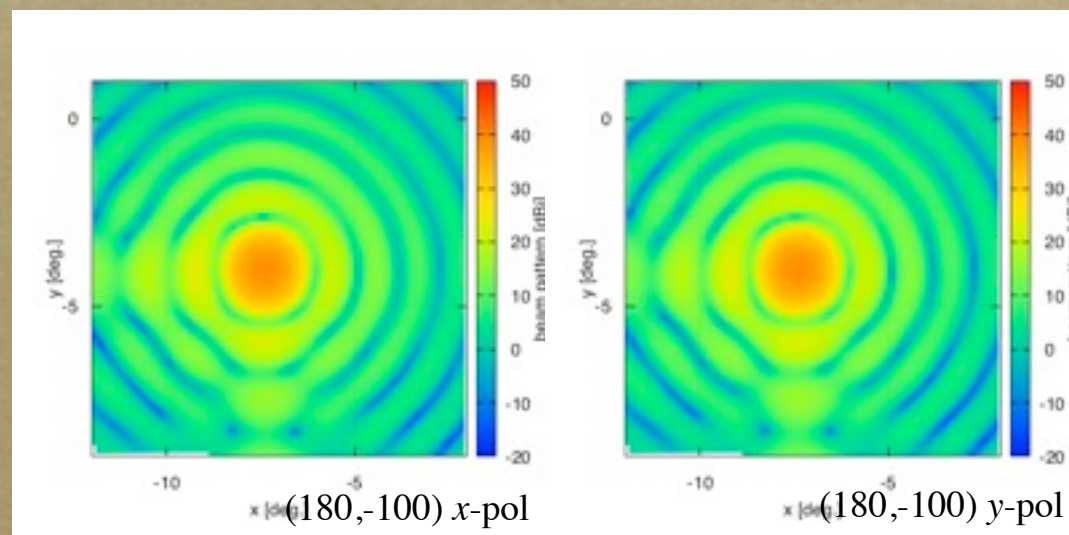
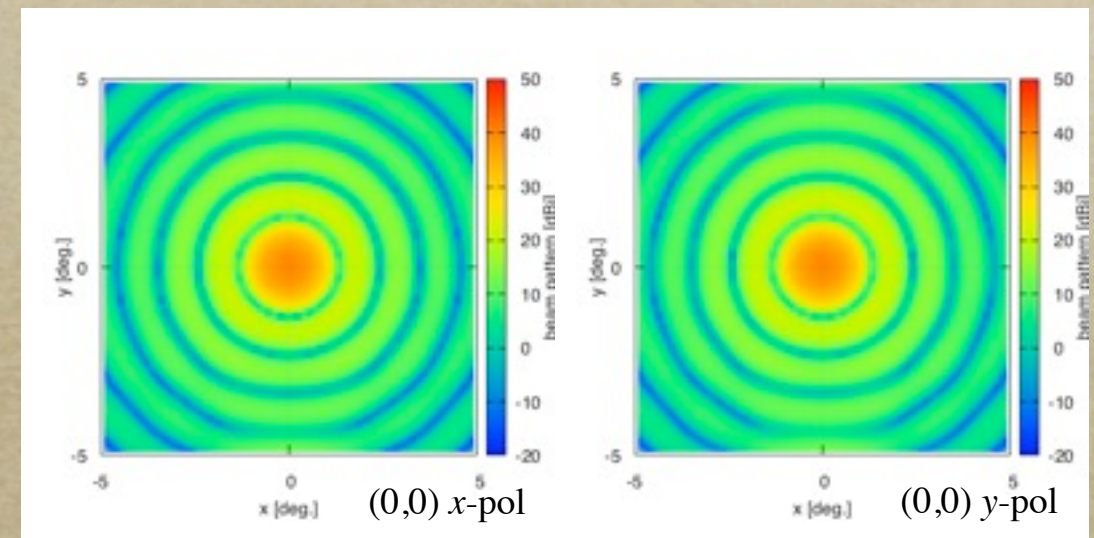
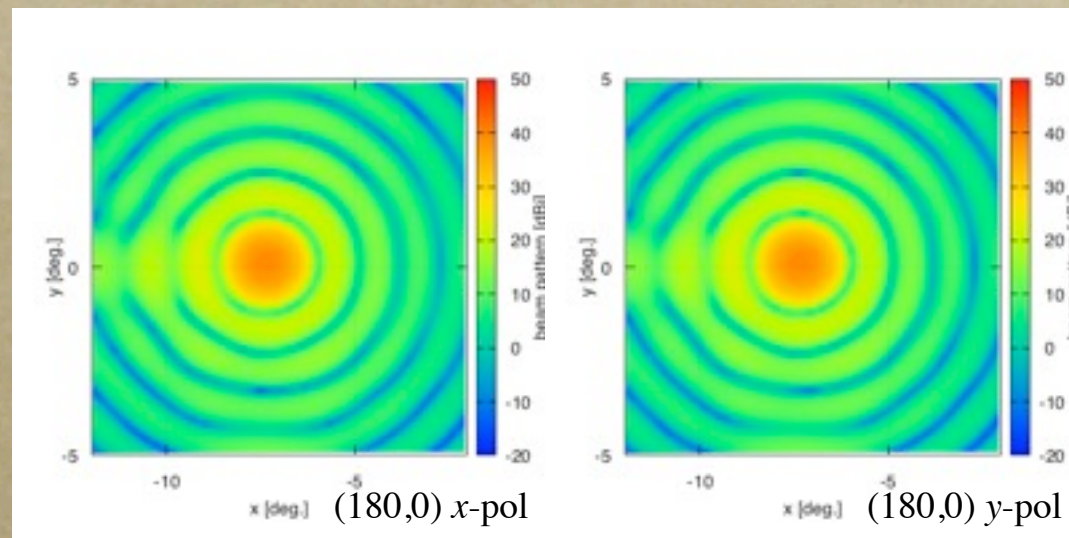
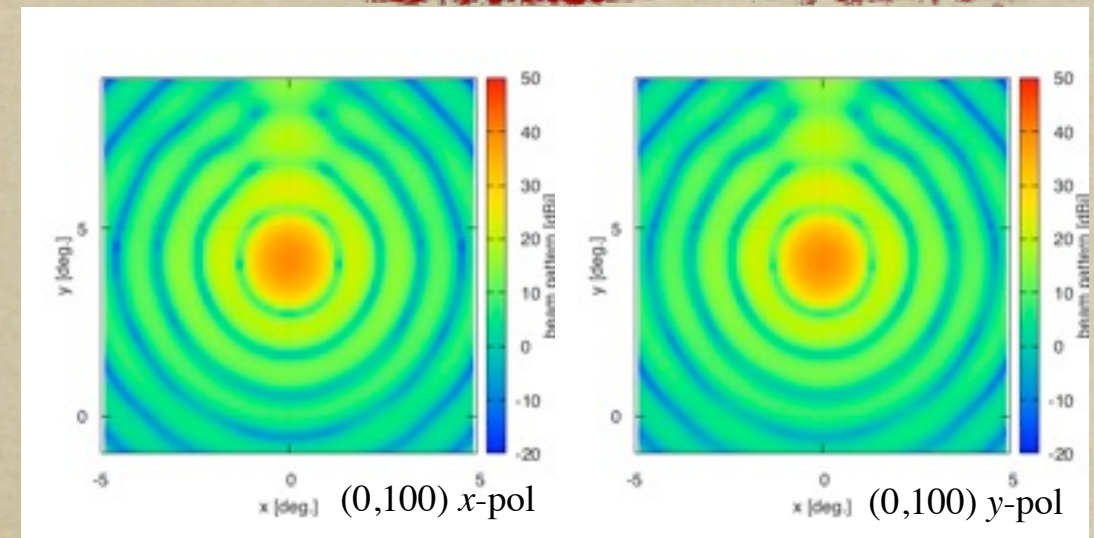
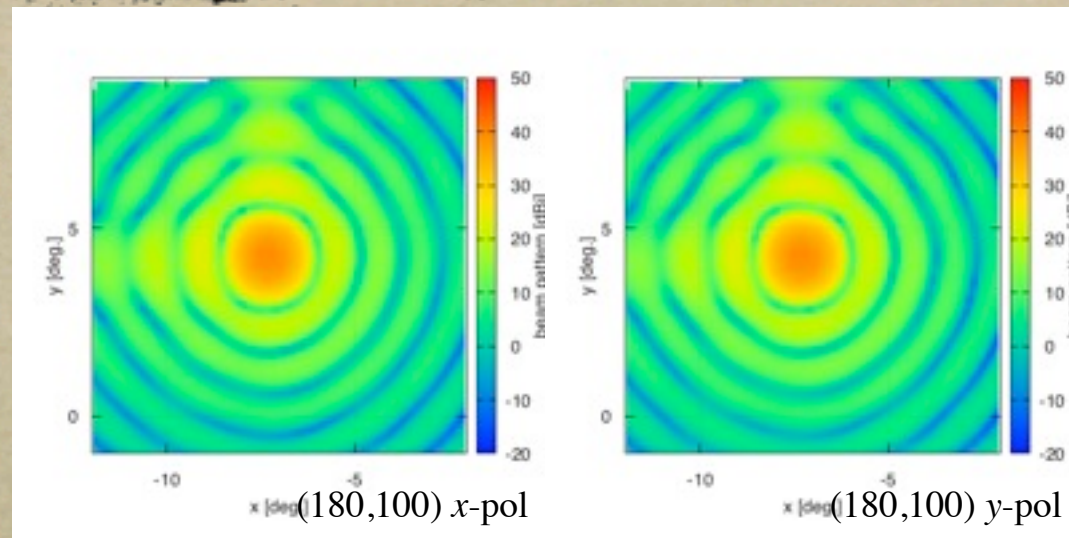
- 。 焦点面に 6 つ (検出器アレイの真ん中と端)
 - ✓ $(x,y) = (0,0), (0,100), (180,100), (180,0), (180,-100), (0,-100)$
- 。 偏光
 - ✓ x または y 軸に沿って偏光した直線偏光
- 。 周波数
 - ✓ 40 GHz (最も低い周波数のバンド)
- 。 基本モードのガウシアンビームを仮定
 - ✓ 開口でのエッジテーパー ~ 1.5 dB

❖ 迷光は考慮しない

- 。 メインローブにほとんど影響しない



結果 (ビームパターン)



結果 (ガウシアンでフィッティング)

検出器	gain [W/Hz/sr]	pointing (θ, ϕ)	FWHM-x [deg.]	FWHM-y [deg.]	FWHM ave. [deg.]	ellipticity
(0,0) x -pol	8.69752×10^3	(0.02903,90.00000)	1.58799	1.57168	1.57982	5.15990×10^{-3}
y -pol	8.69811×10^3	(0.02910,90.00000)	1.5883	1.57134	1.5798	5.37020×10^{-3}
(0,100) x -pol	8.07170×10^3	(4.14703,90.00000)	1.56625	1.65621	1.6106	-2.79160×10^{-2}
y -pol	8.07893×10^3	(4.14759,90.00000)	1.56643	1.65659	1.61088	-2.79738×10^{-2}
(180,100) x -pol	7.97532×10^3	(8.43637,149.87023)	1.57752	1.65199	1.61432	-2.30585×10^{-2}
y -pol	7.98049×10^3	(8.43629,149.86501)	1.57756	1.65163	1.61417	-2.29364×10^{-2}
(180,0) x -pol	8.52332×10^3	(7.34361,179.13375)	1.61386	1.56642	1.58996	1.49174×10^{-2}
y -pol	8.51949×10^3	(7.34321,179.13375)	1.61376	1.56577	1.58958	1.50394×10^{-2}
(180,-100) x -pol	7.63747×10^3	(8.41448,-151.43773)	1.59376	1.67227	1.63254	-2.40376×10^{-2}
y -pol	7.63514×10^3	(8.41436,-151.43350)	1.59326	1.67294	1.63261	-2.43960×10^{-2}
(0,-100) x -pol	7.83190×10^3	(4.08143,-90.00000)	1.56052	1.67126	1.61494	-3.42660×10^{-2}
y -pol	7.83299×10^3	(4.08206,-90.00000)	1.56017	1.68198	1.61993	-3.75692×10^{-2}

結果 (検出器間の差)

検出器	diff. gain	diff. pointing	diff. FWHM	diff. ellipticity
(0,0)	6.8×10^{-5}	0.3"	1.1×10^{-5}	-2.1×10^{-4}
(0,100)	9.0×10^{-4}	2.0"	-1.7×10^{-4}	5.7×10^{-5}
(-180,100)	6.5×10^{-4}	2.8"	9.3×10^{-5}	-1.2×10^{-4}
(180,0)	-4.5×10^{-4}	1.5"	2.4×10^{-4}	-1.7×10^{-4}
(180,-100)	-3.1×10^{-4}	2.3"	-4.5×10^{-5}	3.6×10^{-4}
(0,-100)	1.4×10^{-4}	2.3"	-3.1×10^{-4}	3.3×10^{-4}
要求値	$< 2 \times 10^{-5}$	$< 2''$	$< 2 \times 10^{-3}$	$< 4 \times 10^{-4}$



要求を満たす

要求を少しはみ出る

要求を満たさない

考察と今後

❖ 結果

利得	指向方向	ビーム幅	扁平率
× 要求より 1 桁大きい	△ 要求と同程度	○	○

。利得の較正はなし、フィードはガウシアンビーム

❖ 原因の候補

。鏡の端の回折

。エッジテーパー

❖ その他、今後計算すべき条件

。他の周波数

。ガウシアンでないフィードのパターン

。公差があった場合

まとめ

- ❖ LiteBIRD の LFT の物理光学シミュレーションを行なった
 - 。 光学設計自体は光線追跡による
 - 。 周波数 40 GHz
 - 。 視野の真ん中と端
 - 。 フィードはガウシアンビームの基本モード
 - 。 半波長板がない場合
- ❖ ビーム幅、扁平率、指向方向・・・要求を(ほぼ)満たす
- ❖ 利得・・・要求を満たせない
 - ➡ 光学系のパラメータを調整する
 - ➡ 利得の較正をする