GUI Devel Meeting報告

2021年6月3日(木)17時

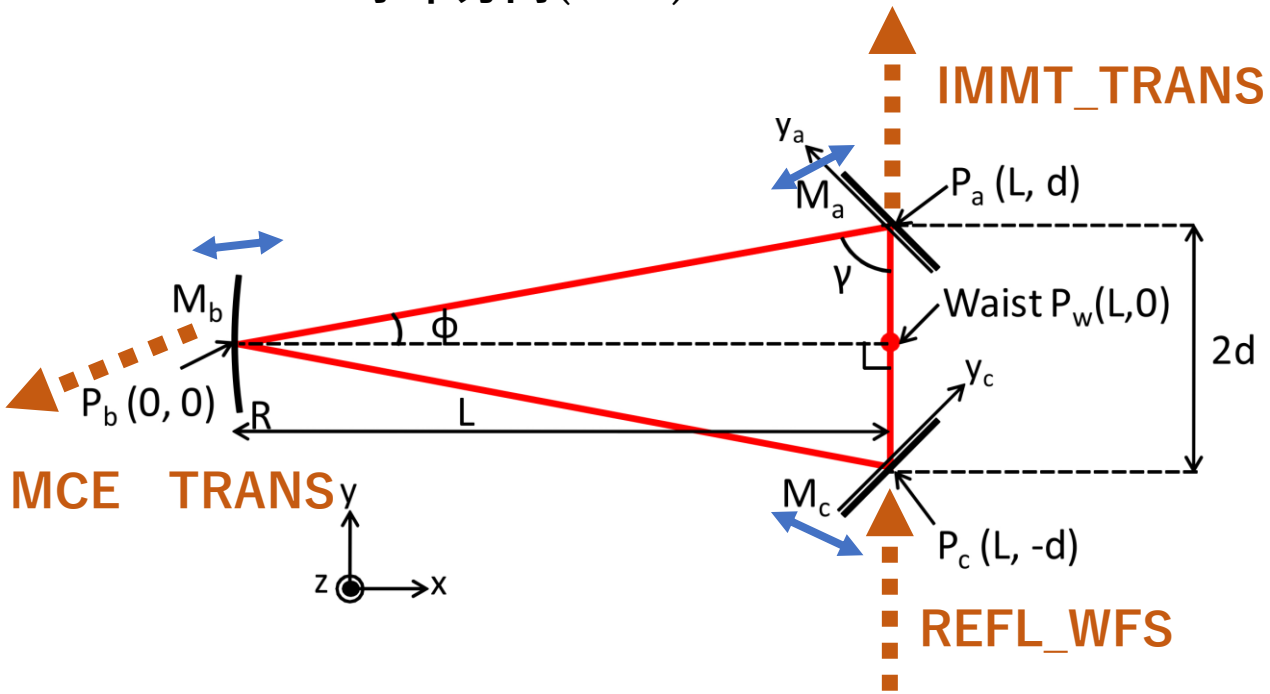
廣瀬千晶

現在の状況

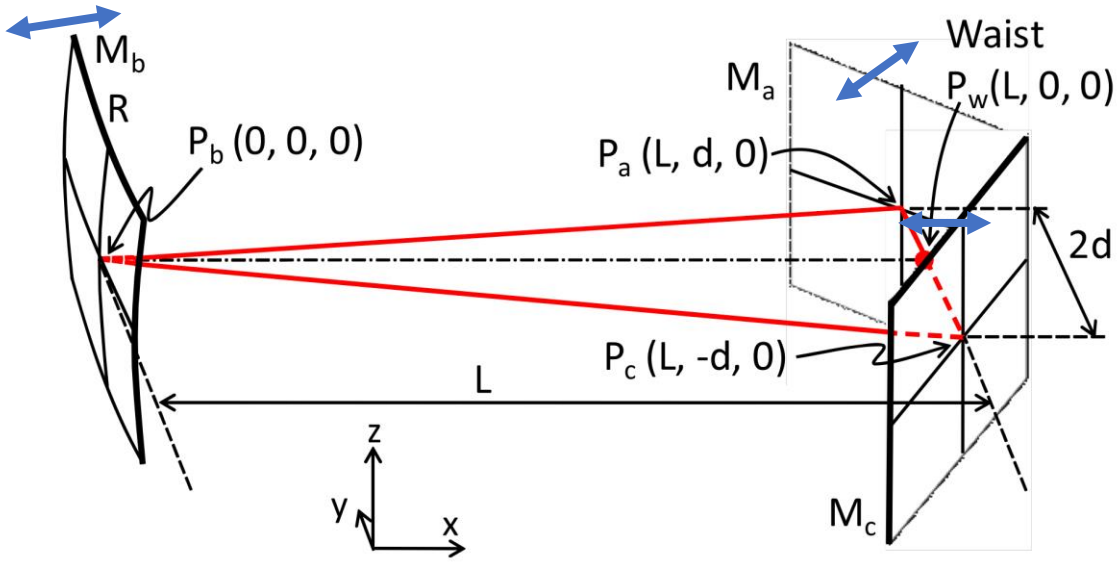
- IMCでの角度制御を導入する

角度変化による信号検出(解析計算)
　→ダブルチェック(他の論文orシミュレーション)　今ここ
　↓
制御フィルターを作る。

水平方向(Yaw)



垂直方向(Pitch)



水平方向	フラットミラーが同相に動く
	フラットミラーが差動に動く
	エンドミラーのみ動く
垂直方向	フラットミラーが同相に動く
	フラットミラーが差動に動く
	エンドミラーのみ動く

→ 6パターン動かして反射光(REFL_WFS)透過光(IMMT_TRANS, MCe_TRANS)から信号を見る

→ (Gouy位相による)QPDの位置で6パターンの動きを信号分離する。

↓

ASCの制御をかけるためのフィルターを作成

現在の問題

○→一致
×→不一致

		解析計算(参考資料を含めて)	解析計算のダブルチェック	
			他の論文など	FINESSE simulation
REFL WFS		斎藤さんの資料→修正	LIGO論文 (やり方は同じ) △	苔山さんとgreenさんのスクリプト
TRANS	Mce	斎藤さんの資料 (ガウシアンビームからグイ位相で信号分離)	無し △ or ×	苔山さんとgreenさんのスクリプトを参考に自分で作成。
	IMMT	斎藤さんのやり方を参考に自分で計算		同上

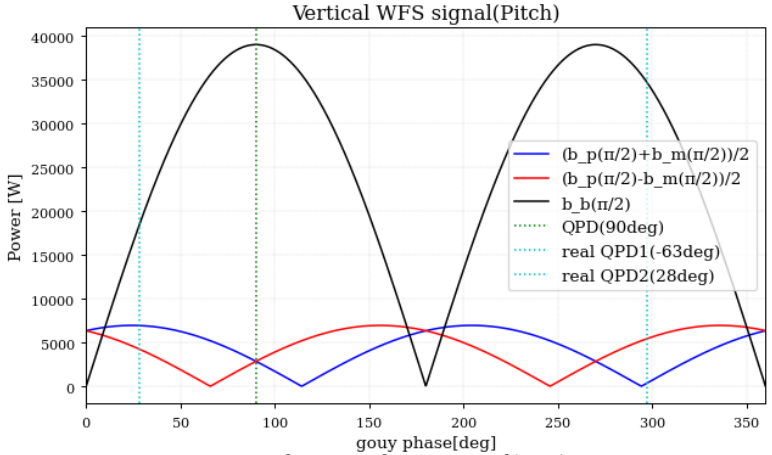
道村さん「noteQPD.pdf」

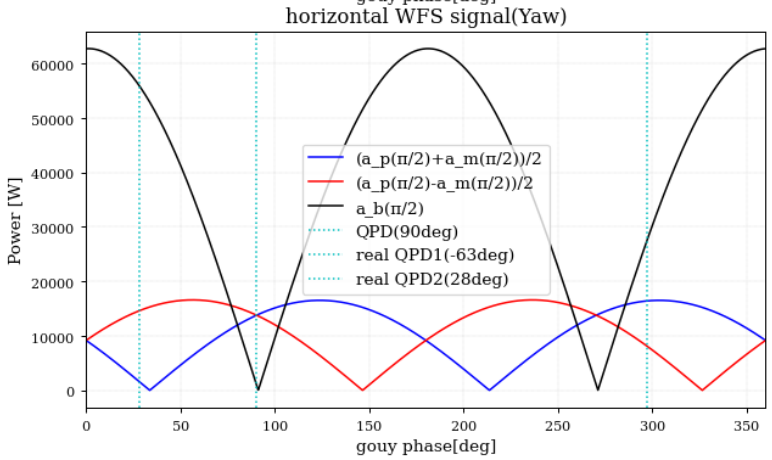
ABCD matrixから出す直接的に光軸を測るやり方
(両角さんの修論から)
(道村さんの資料を参考にしている)

解析計算と
シミュレーションの比較

REFL_WFS　各ミラーのプロット

解析計算を絶対値表示にした
(simulationの方を絶対値表示から
変更することが出来なかったため)

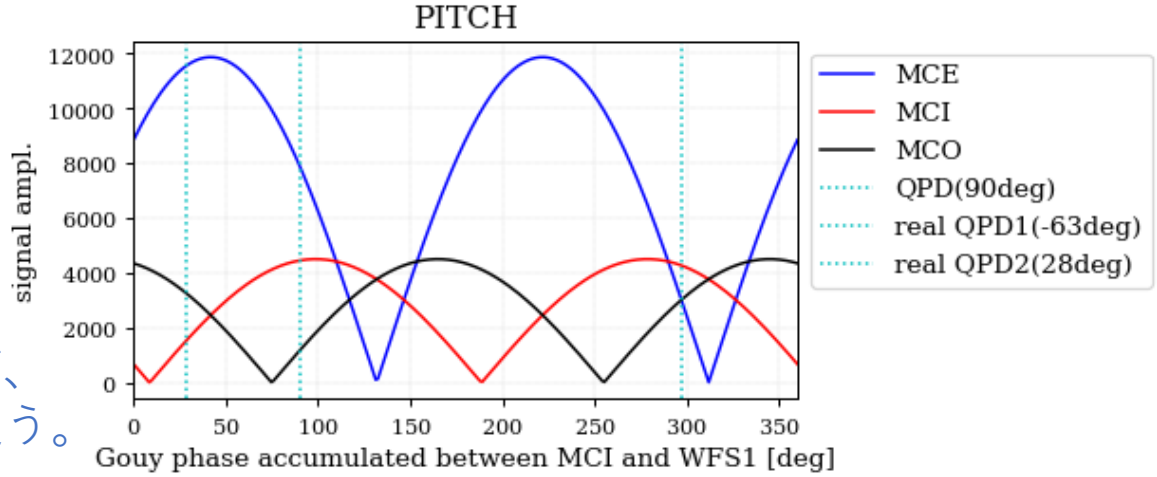


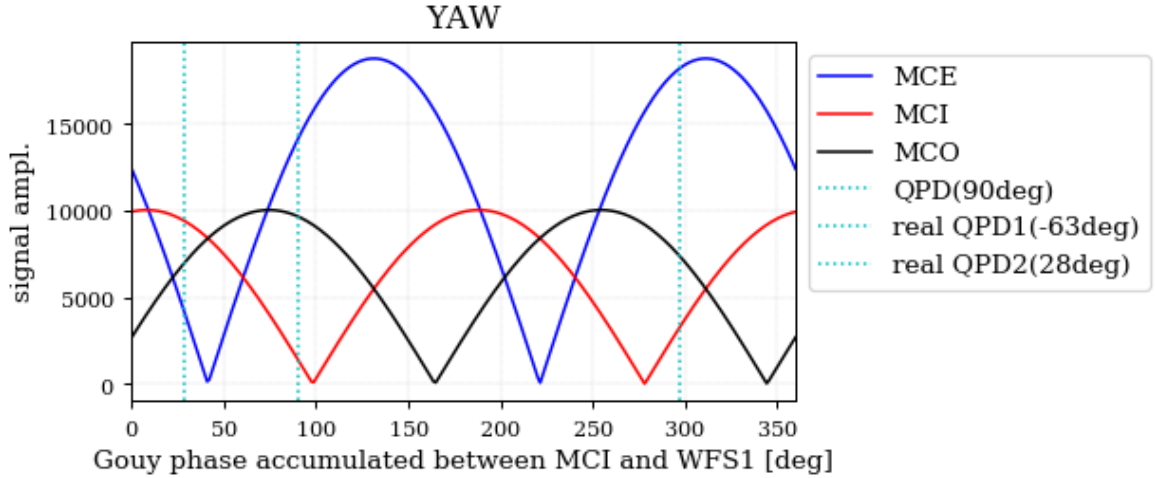


形が似ているが、
出力の比率が違う。

(両者縦軸を
合わせる必要
がある。)
全体的に
gouyphase
がシフトして
いる。

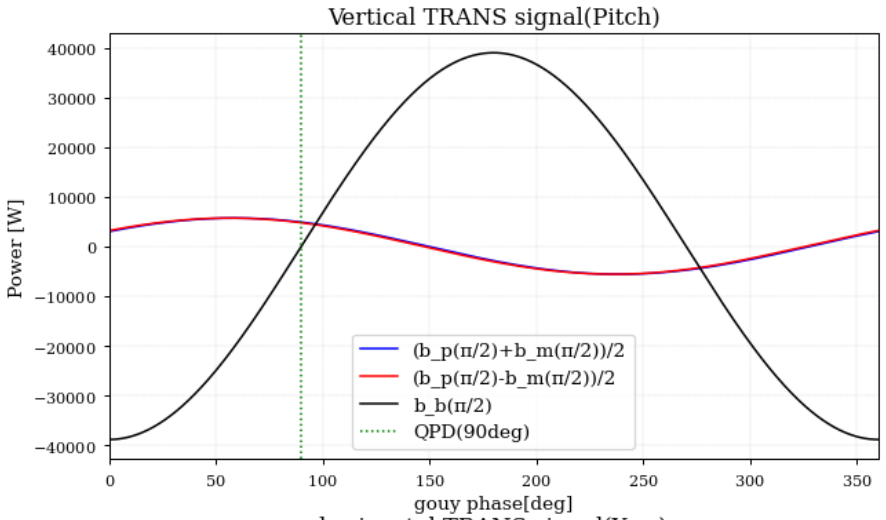
simulation

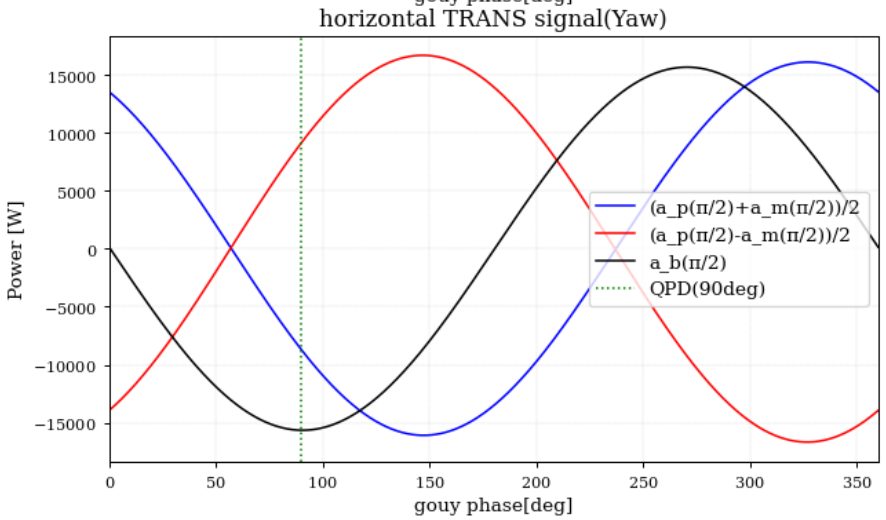




MCe TRANS　各ミラーのプロット

解析計算

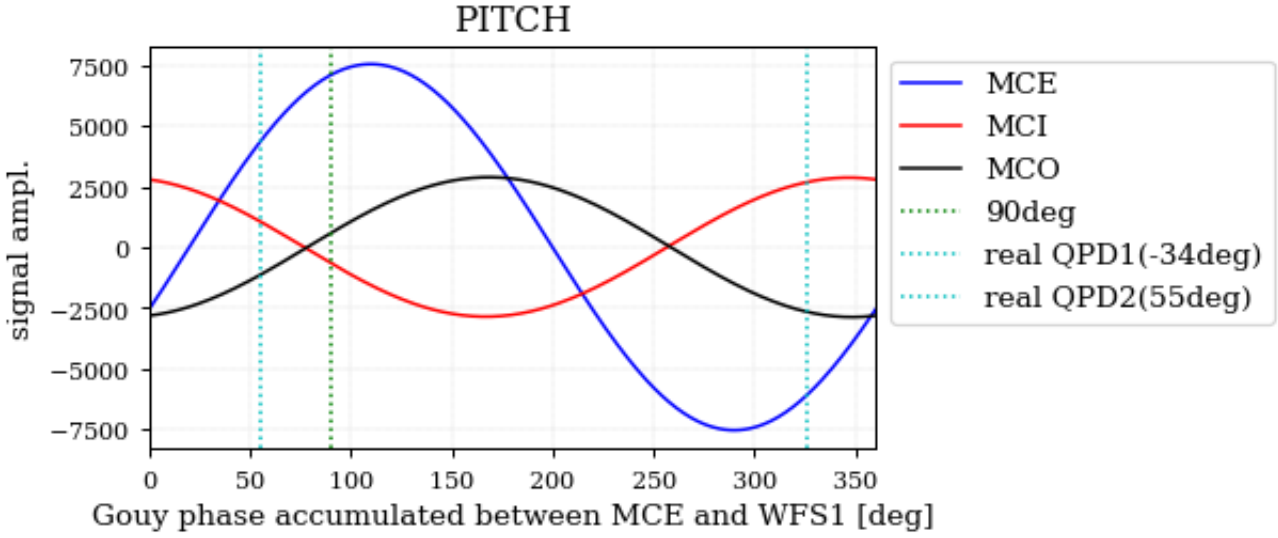


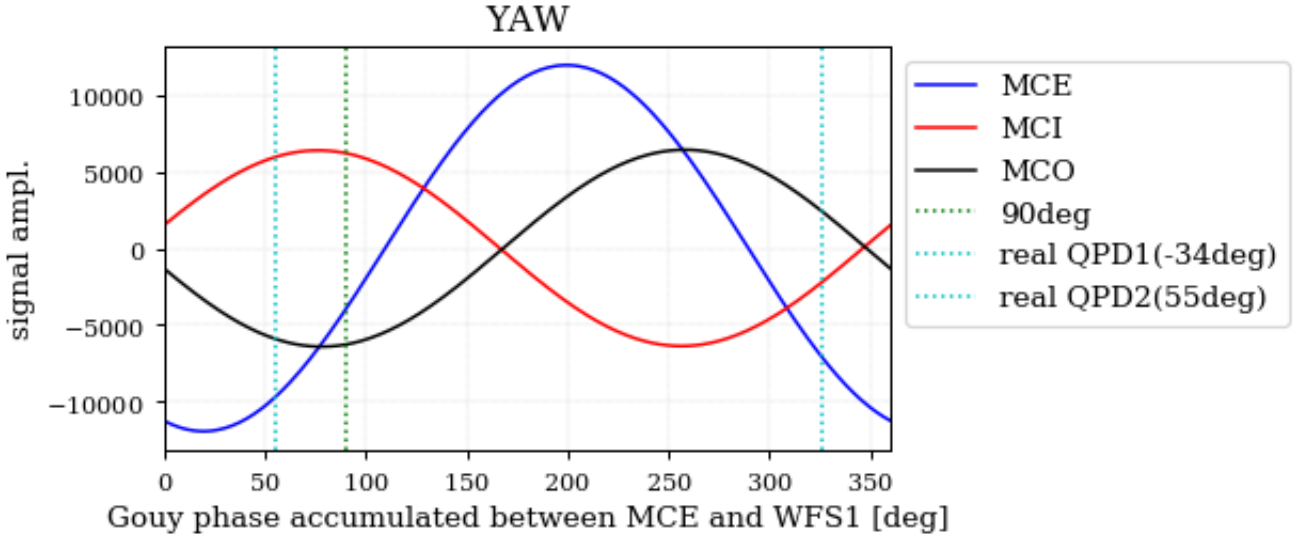


明らかに
波形が違う

形は似ているが、エンドミラーとフラットミラーの比率が違う

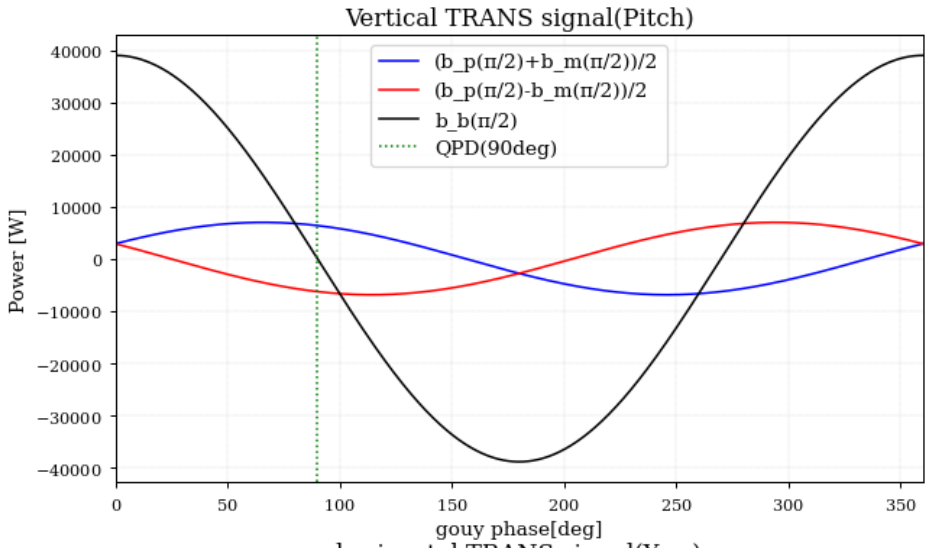
simulation

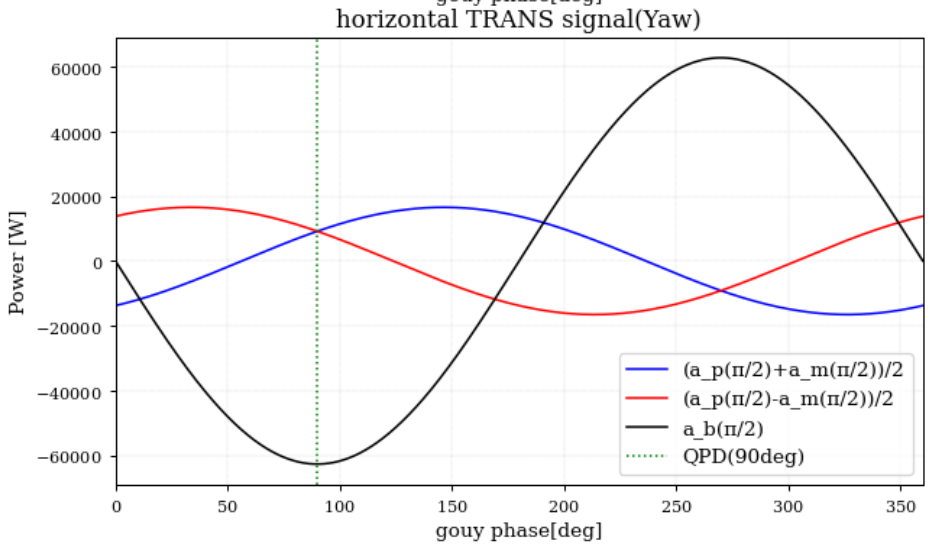




IMMT1__TRANS 各ミラーのプロット

解析計算

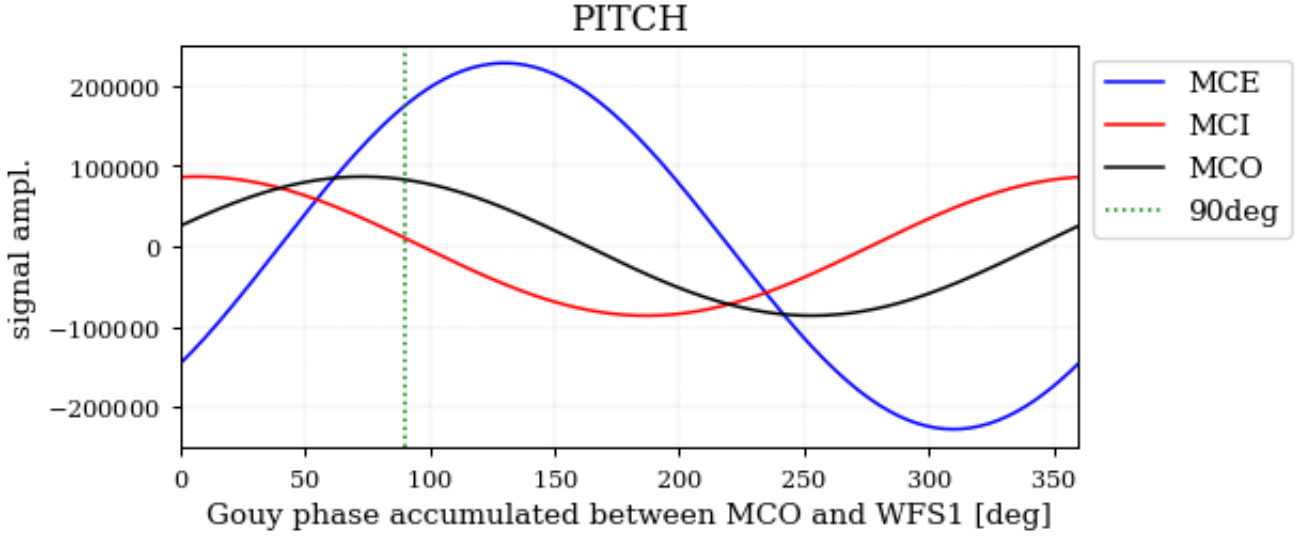


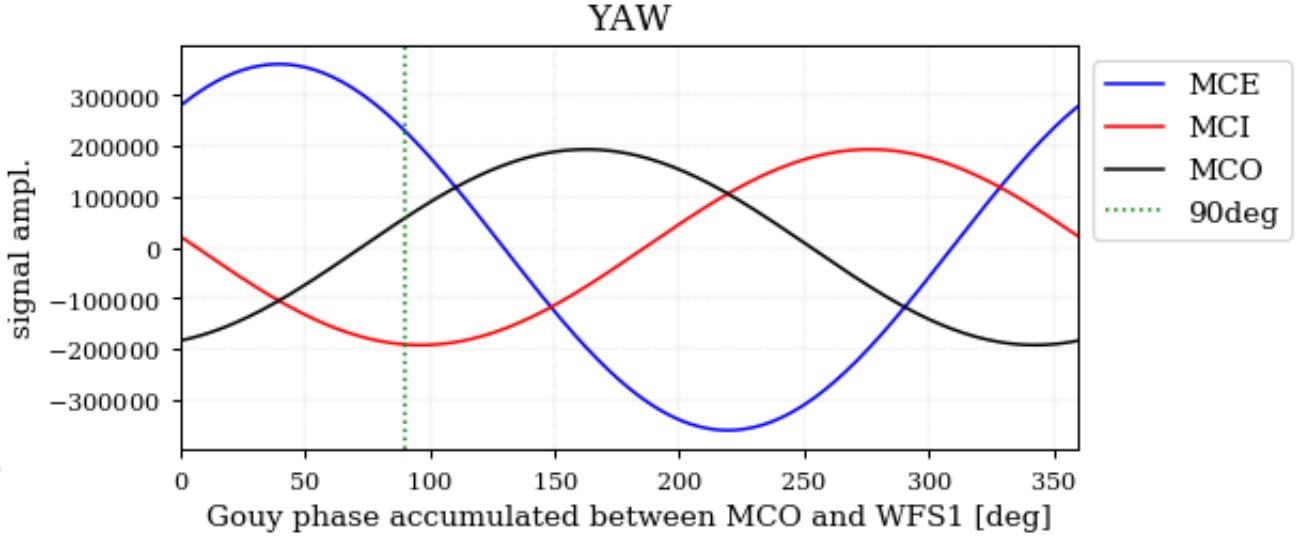


明らかに
波形が違う

形は似ているが、エンドミラーとフラットミラーの比率が違う

simulation





具体的な解析計算の流れ

REFL_WFS

各ミラーの角度変化によって生じる入射光軸に対する共振器軸のウェスト周りでの平行移動をδx、回転$\delta\theta$とすると、REFL で得られる WFS 信号は、[1]

$$P_{\mathrm{WFS}}^{\mathrm{I\ total}} = -\sqrt{\frac{8}{\pi}} P_0 J_0(\beta) J_1(\beta)(r_{\mathrm{c0}} r_{\mathrm{s1}} - r_{\mathrm{c1}} r_{\mathrm{s0}}) \left(\frac{\boxed{\delta x}}{w_0} \sin\eta - \frac{\boxed{\delta\theta}}{\alpha_0} \cos\boxed{\eta} \right)$$

代入する

グイ位相

新潟大学斎藤さんのグラフ

Table.4.1 ウェスト周りの入射光軸に対する共振器軸の変化

Direction	Cause	δx	δz	$\delta\theta_x$	$\delta\theta_z$
Horizontal	α_b	0	0	$-\frac{R}{(R-L-d)}\alpha_b$	0
	α_+	0	0	$-\frac{R-L}{(R-L-d)}\alpha_+$	0
	α_-	$-\sqrt{L^2+d^2}\alpha_-$	0	0	0
Vertical	β_b	0	$-\beta_b R$	0	0
	β_+	0	0	0	$\frac{\beta_+}{\sqrt{2}}$
	β_-	0	0	0	$-\frac{\beta_-}{\sqrt{2}}$

新潟大学斎藤さんのグラフを修正

Table.4.1 ウェスト周りの入射光軸に対する共振器軸の変化

Direction	Cause	δx	δz	$\delta\theta_x$	$\delta\theta_z$
Horizontal	α_b	0	0	$-\frac{R}{(R-L-d)}\alpha_b$	0
	α_+	0	0	$-\frac{R-L}{(R-L-d)}\alpha_+$	0
	α_-	$-\sqrt{L^2+d^2}\alpha_-$	0	0	0
Vertical	β_b	0	$-\beta_b R$	0	0
	β_+	0	0	0	$\frac{\beta_+}{\sqrt{2}}$
	β_-	0	0	0	$-\frac{\beta_-}{\sqrt{2}}$

符号が違う

符号が違うものの、
Abと傾き方向が逆なため、
結果的にそのまま

符号が違う

(B+)*(R-L)/2

0

斎藤さんのグラフを直したもの

ミスアライメントしたときのウエスト位置での共振軸の変化

Direction	Cause	Δx	Δz	$\Delta\theta_x$	$\Delta\theta_z$
Yaw	α_b	0	0	$\frac{R}{(R-L-d)}\alpha_b$	0
	α_+/α_p	0	0	$-\frac{R-L}{(R-L-d)}\alpha_+$	0
	α_-/α_m	$-\sqrt{L^2+d^2}\alpha_-$	0	0	0
Pitch	β_b	0	$\beta_b R$	0	0
	β_+/β_p	0	$\beta_+\frac{R-L}{2}$	0	0
	β_-/β_m	0	0	0	$-\frac{\beta_-}{\sqrt{2}}$

REFL_WFS

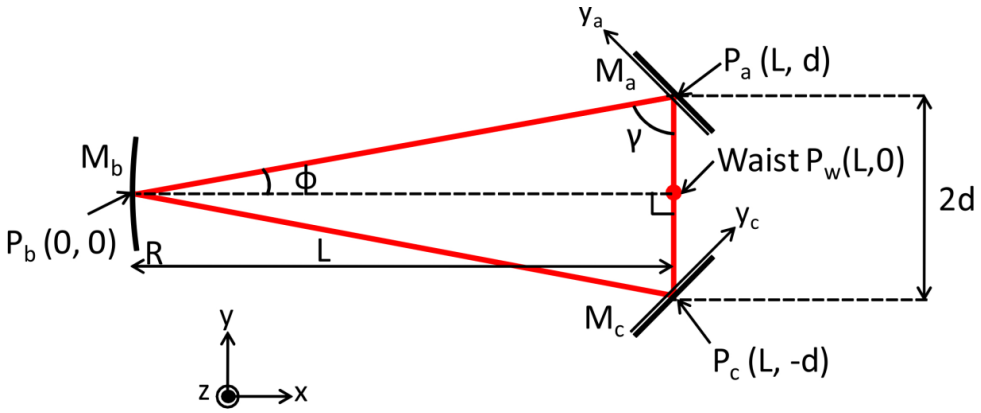
Kawazoeさんの論文から

Table 2. Horizontal misalignment comparison.

Type	Method	M_a Δx	M_a Δy	M_c Δx	M_c Δy	M_b Δx	M_b Δy	Waist Δx	Waist Δy	Waist Angle
α_b	Geom.Analy.	0.205	-0.205	-0.205	-0.205	0	-13.970	0	0.205	-1.370
	OptoCad	0.206	-0.202	-0.206	-0.202	0	-13.974	0	0.209	-1.370
	IFOCAD	0.205	-0.202	-0.205	-0.202	0	-13.974	0	0.209	-1.370
α_-	Geom.Analy.	-10.051	10.051	-10.051	-10.051	0	0	-10.051	0	0
	OptoCad	-10.051	9.902	-10.051	-9.902	0	0	-10.051	0	0
	IFOCAD	-10.051	9.903	-10.051	-9.903	0	0	-9.9022	0	0
α_+	Geom.Analy.	-0.151	0.151	0.151	0.151	0	0.205	0	-0.001	1.005
	OptoCad	-0.151	0.149	0.151	0.149	0	0.206	0	-0.003	1.005
	IFOCAD	-0.151	0.149	0.151	0.149	0	0.205	0	-0.003	1.005

Table 3. Vertical misalignment comparison.

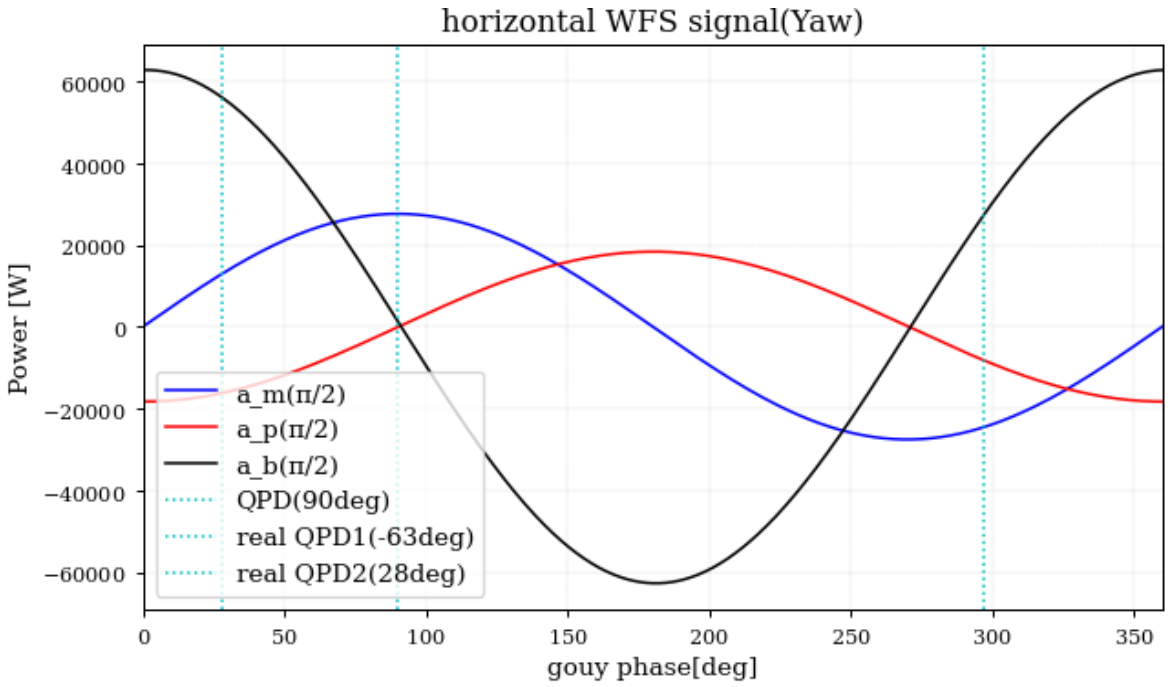
Type	Method	M_a Δx	M_a Δz	M_c Δx	M_c Δz	M_b Δx	M_b Δz	Waist Δx	Waist Δz	Waist Angle
β_b	Geom.Analy.	0	37.800	0	37.800	0	37.800	0	37.800	0
	IFOCAD	0	37.800	0	37.800	0	37.800	0	37.800	0
β_-	Geom.Analy.	0	0.106	0	-0.106	0	0	0	0	0.707
	IFOCAD	0	0.106	0	-0.106	0	0	0	0	0.702
β_+	Geom.Analy.	0	-19.622	0	-19.622	0	-26.729	0	-19.622	0
	IFOCAD	0	-19.770	0	-19.770	0	-26.930	0	-19.770	0

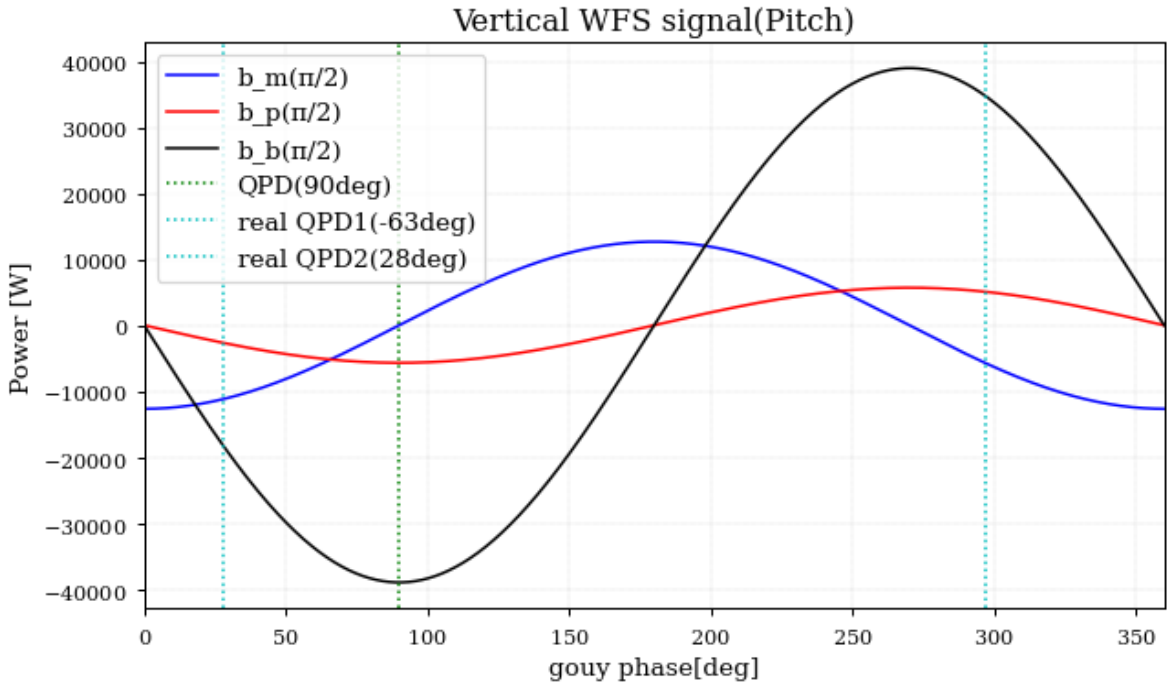


ウエスト位置でのΔy成分が発生しているものの、
ウエスト位置においての並進方向と傾きの代入なので、Δyはそれぞれ関係ない

REFL_WFS

解析計算(エンドミラーb、フラットミラーの差動p、同相m × 垂直方向Pitch, 水平方向Yaw)





Gouy位相によるそれぞれの動きのパワー

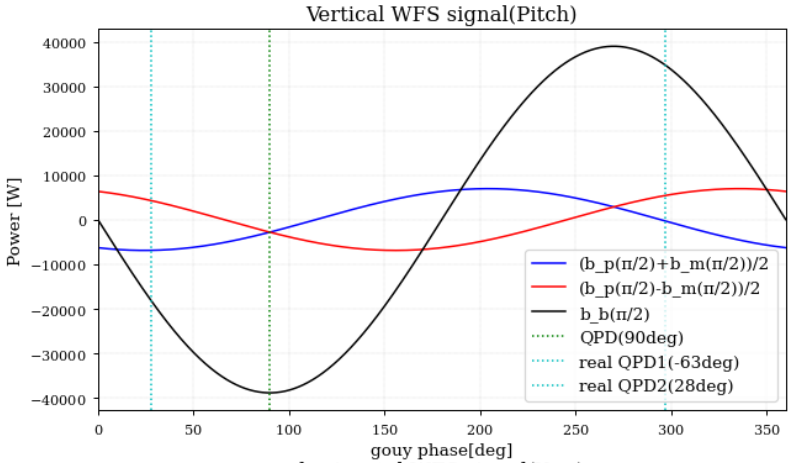
QPD Name(g)	ab	a+	a-	bb	b+	b-
REFL(0deg)	31353.87	-9162.39	0	0	0	-6330.19
REFL(90deg)	13921.18	-3938.5	12478.24	-17629.4	-2575.88	-2692.02
REFL(-63deg)	-58662.2	17238.38	9222.479	-13029.7	-1903.8	11931.27
REFL(28deg)	60873.49	-17714	7195.996	-10166.6	-1485.47	-12221.7

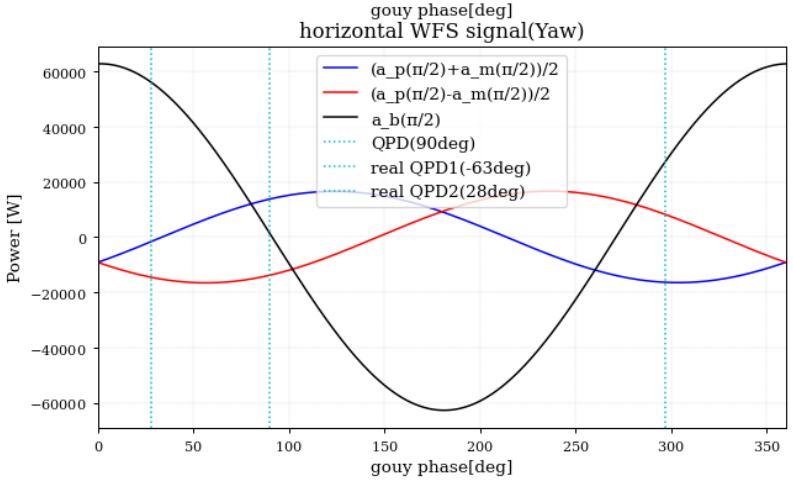
REFL_WFS

各ミラーのプロット

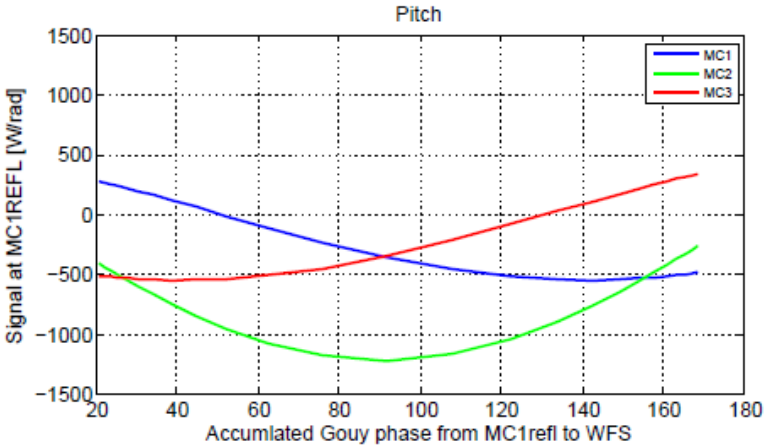
合ってそう

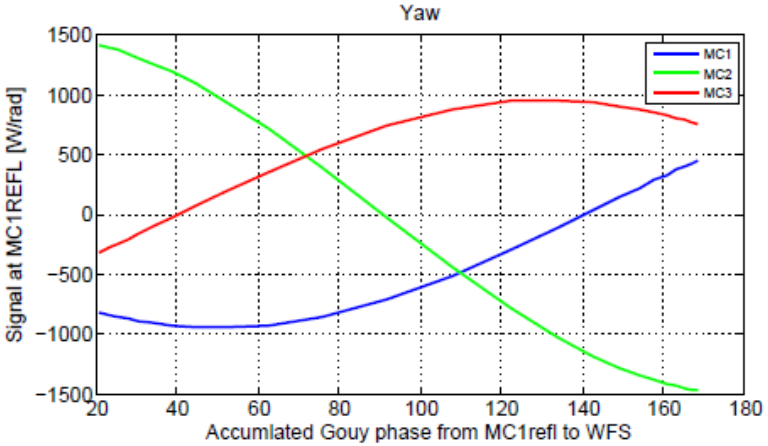
解析計算

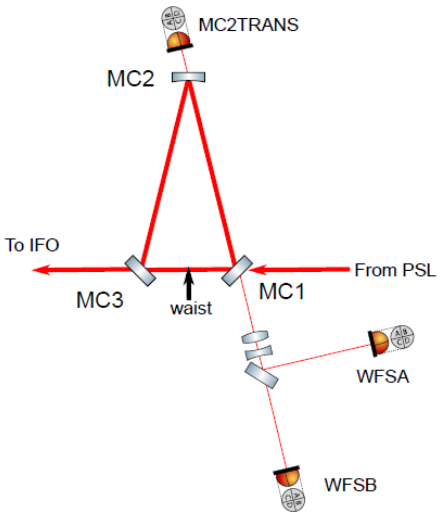




LIGOの論文から(解析計算)







MCe TRANS

TRANSでの信号 $P_{diff} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} P_0 \left(\frac{\delta x}{w_0} \cos\eta - \frac{\delta\theta}{\alpha_0} \sin\eta \right)$

MaMb光軸上のウエスト位置とは、
（フラットミラーで折り返さない想定で）
MaMb光軸をフラットミラーよりも延長して、
フラットミラーからウエストと同距離の点

Table7.7：ミスアラインメントによる Ma-Mb 光軸上のウェスト位置の平行移動、回転

Direction	Cause	δy	δθ
Horizontal	α_b	$S\left(1 - \frac{L + d\theta_b}{L - d}\right)\delta\theta$	$\tan^{-1}\left(\frac{(L^2 - d^2)\theta_b}{S^2 + 2Ld\theta_b}\right)$
	α_+	$S\left(1 - \frac{R(L - d\theta_+)\varphi_+}{(L\varphi_+ - d\theta_+)L}\right)\delta\theta$	$\tan^{-1}\left(\frac{d(d\theta_+ - L\varphi_+)}{S^2 - Ld\theta_+ - d^2\varphi_+}\right)$
	α_-	$S\delta\theta$	$\tan^{-1}\left(\frac{(d + L)\alpha_-}{S + (d - L)}\right)$

Direction	Cause	δz	δθ
Vertical	β_b	$-\beta_b R$	0
	β_+	$(S - R)\delta\theta$	$\tan^{-1}\left(\frac{-\beta_+}{\sqrt{2}}\right)$
	β_-	$S\delta\theta$	$\tan^{-1}\left(-\frac{d\beta_-}{L\sqrt{2}}\right)$

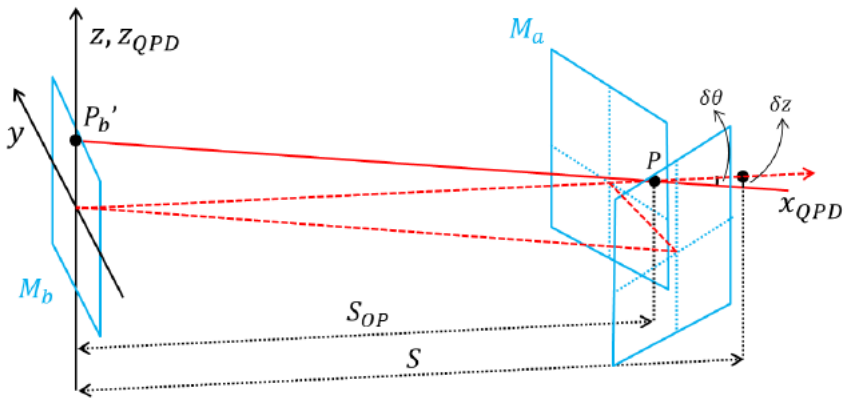


Fig.7.4　垂直方向の光軸の変化

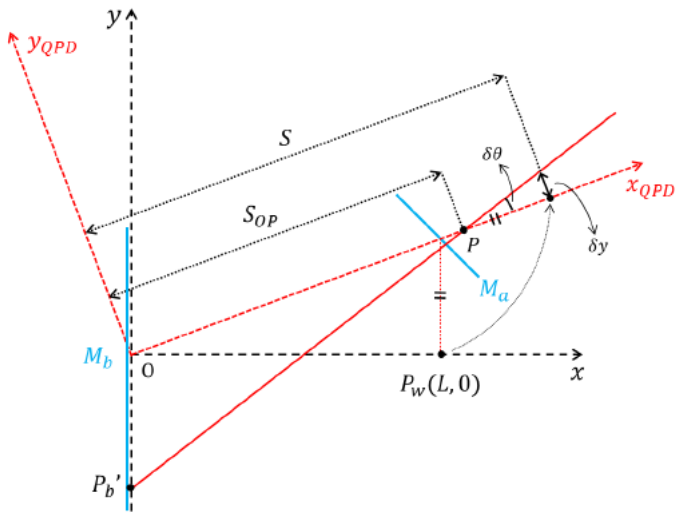
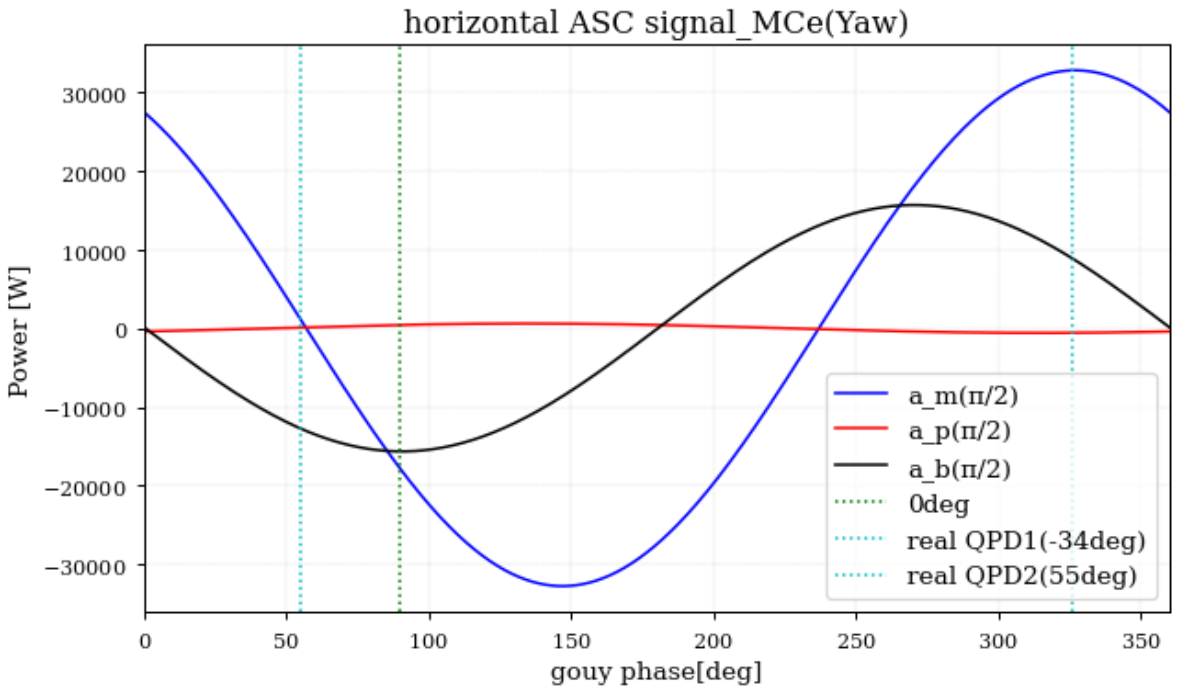
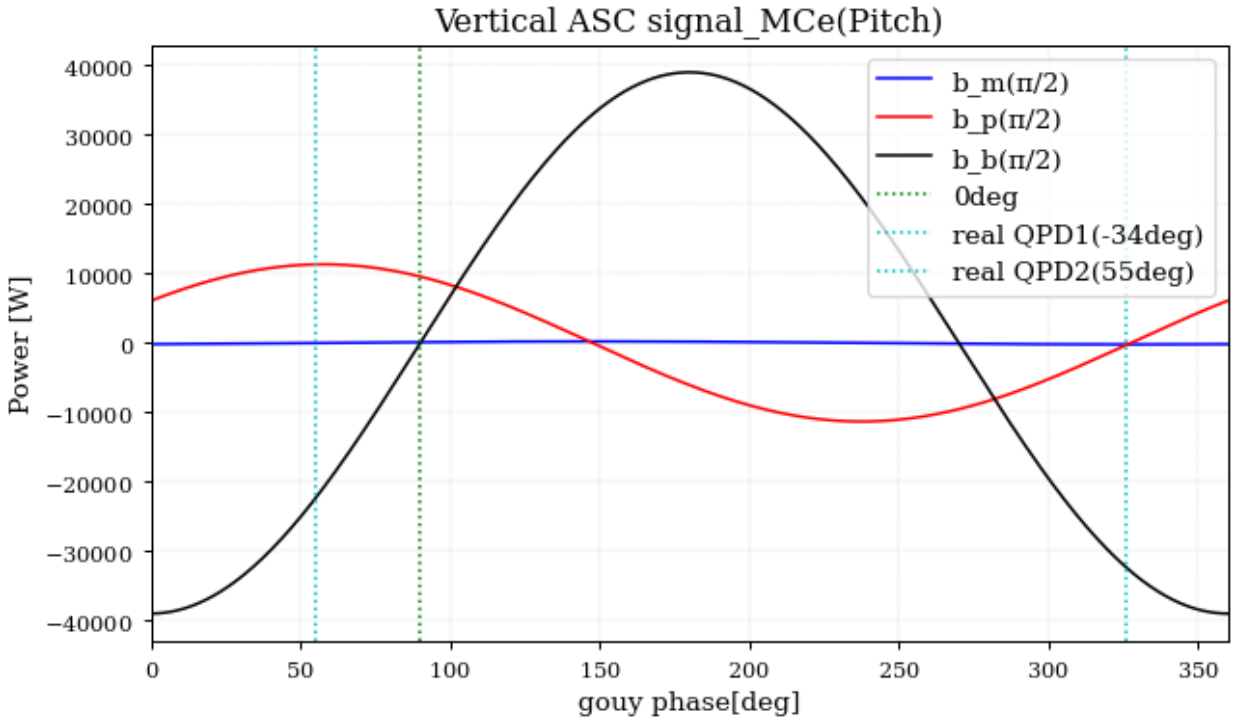


Fig.7.3　水平方向の光軸の変化

MCe TRANS 解析計算(エンドミラーb、フラットミラーの差動p、同相m × Pitch, Yaw)





Gouy位相によるそれぞれの動きのパワー

QPD Name(g)	ab	a+	a-	bb	b+	b-
TRANS(90deg)	-7823.25	212.747	-8933.03	21.263	4771.49	60.044
TRANS(0deg)	69.994	-209.883	13734.41	-19478.6	3035.651	-92.316

IMMT1_TRANS

IMMT1_TRANSはウエスト位置がある光軸と同じ光軸にあるため、
ウエスト位置での共振軸の変化をそのまま代入する。

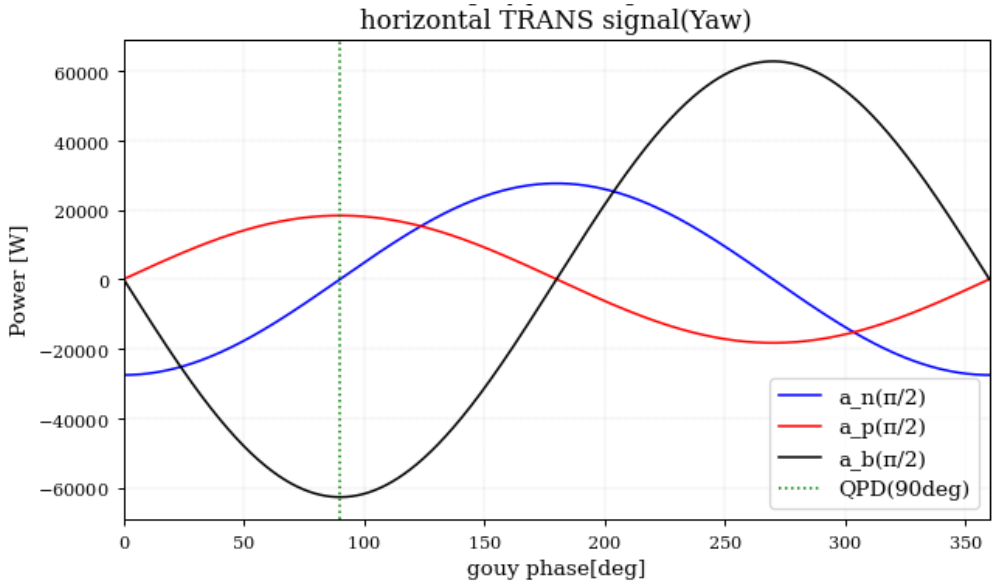
TRANSでの信号 $$P_{diff} = \sqrt{\frac{8}{\pi}} P_0 \left(\frac{\delta x}{w_0} \cos\eta - \frac{\delta\theta}{\alpha_0} \sin\eta \right) \quad (6.6)$$

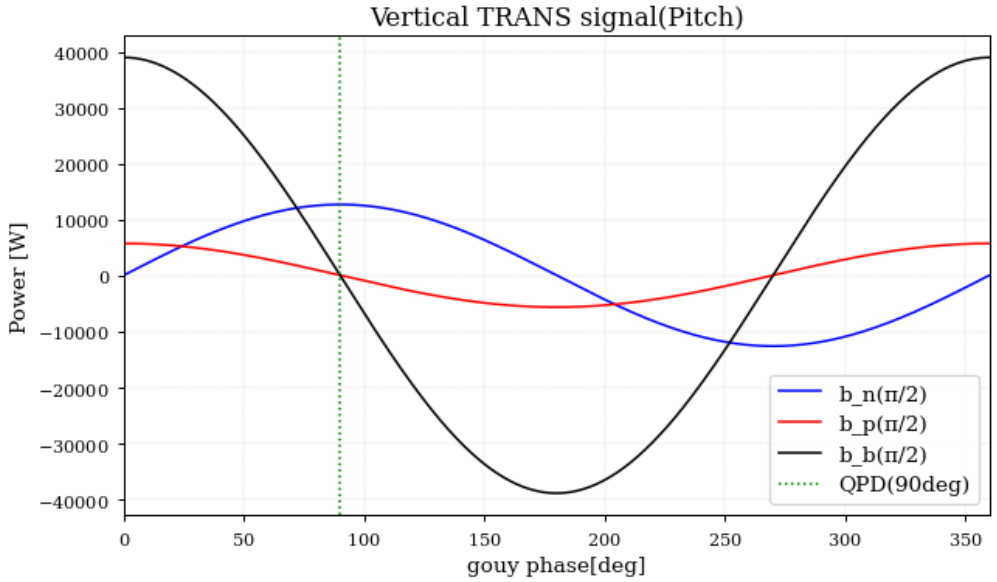
ミスアライメントしたときのウエスト位置での共振軸の変化

Direction	Cause	Δx	Δz	$\Delta\theta_x$	$\Delta\theta_z$
Yaw	α_b	0	0	$\frac{R}{(R-L-d)}\alpha_b$	0
	α_+/α_p	0	0	$-\frac{R-L}{(R-L-d)}\alpha_+$	0
	α_-/α_m	$-\sqrt{L^2+d^2}\alpha_-$	0	0	0
Pitch	β_b	0	$\beta_b R$	0	0
	β_+/β_p	0	$\beta_+ \frac{R-L}{2}$	0	0
	β_-/β_m	0	0	0	$-\frac{\beta_-}{\sqrt{2}}$

IMMT1__TRANS

解析計算(エンドミラーb、フラットミラーの差動p、同相m × 垂直方向Pitch, 水平方向Yaw)





Gouy位相によるそれぞれの動きのパワー

QPD Name(g)	ab	a+	a-	bb	b+	b-
TRANS(0deg)	0	0	-27574.1	38957.18	5692.135	0
TRANS(90deg)	-62707.7	18324.77	30.1	-42.525	-6.213	12660.38