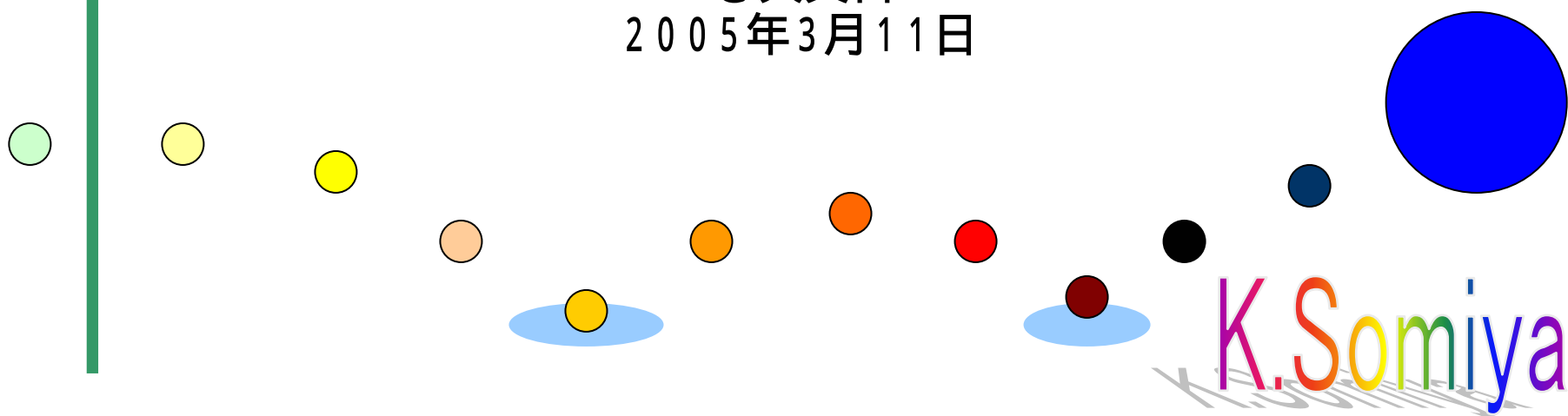


LCGTの制御法について(第2回)

宗宮 健太郎

@天文台
2005年3月11日

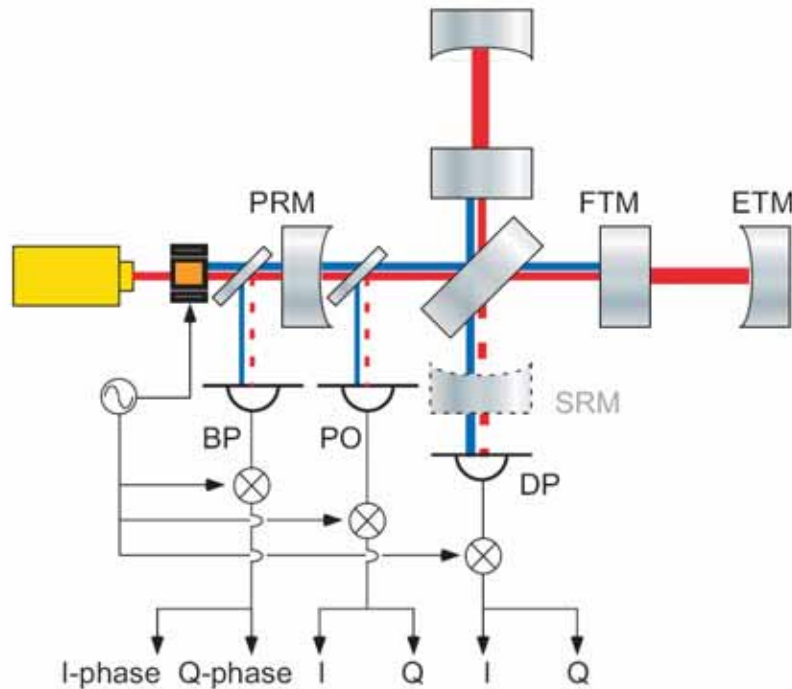


目次

- 4つのRSE制御法の経緯
 - ・ 高周波法 (9-180MHz) → LCGTデフォルト案 (15-50MHz)
 - ・ 低周波法 (15-35MHz)
 - ・ 対角化法 (150-25MHz)
 - ・ 合併法 (190-10MHz)
- 4つの制御法の分類
- 4つの制御法の長短
 - ・ アシンメトリ
 - ・ 対角化
 - ・ その他
- どれがいいか

2周波変調

PRFPMI (4 自由度)

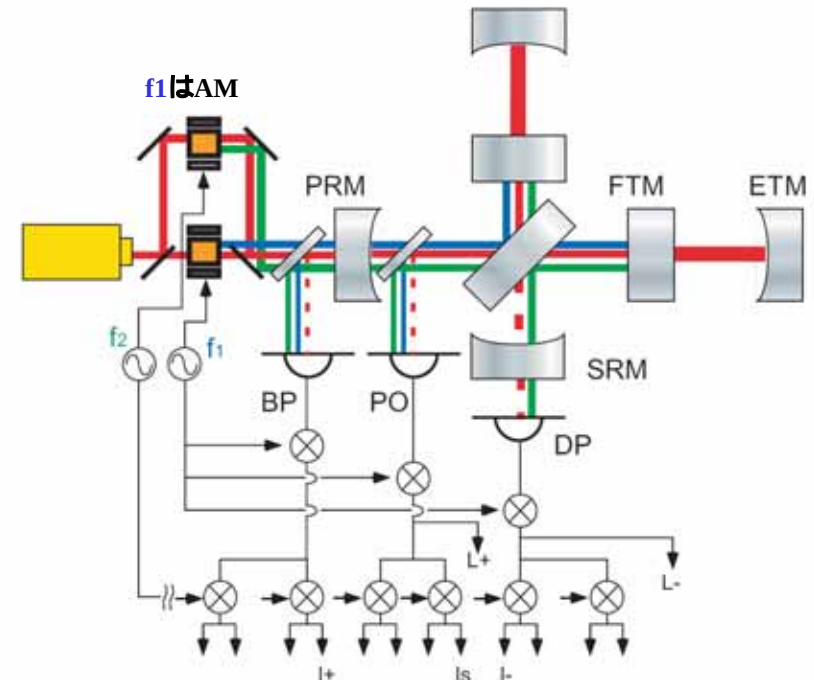


キャリア：腕とPRCを共振

f1 : PRCを共振

SRMが入るとI-phase信号取得Ch.が不足

PR-BRSE (5 自由度)



キャリア:腕とPRCを共振

f1 : PRCを共振

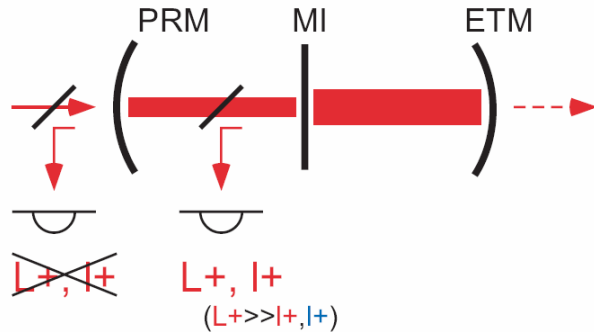
f2 : PR-SRCを共振

二重復調で信号取得チャンネル多数

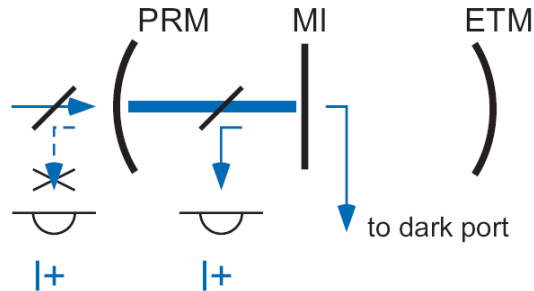
同相信号の分離

PRFPMI (4自由度)

Carrier



Sideband



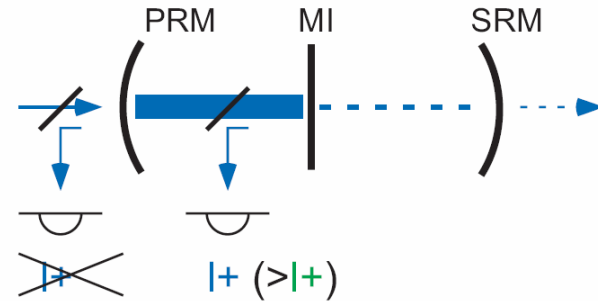
キャリア: 腕とPRCを共振

f_1 : PRCを共振

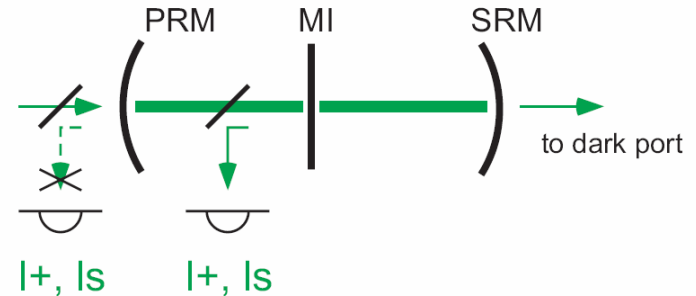
アシンメトリをうまく選ぶとL+とI+が分離

PR-BRSE (5自由度)

SB f_1



SB f_2



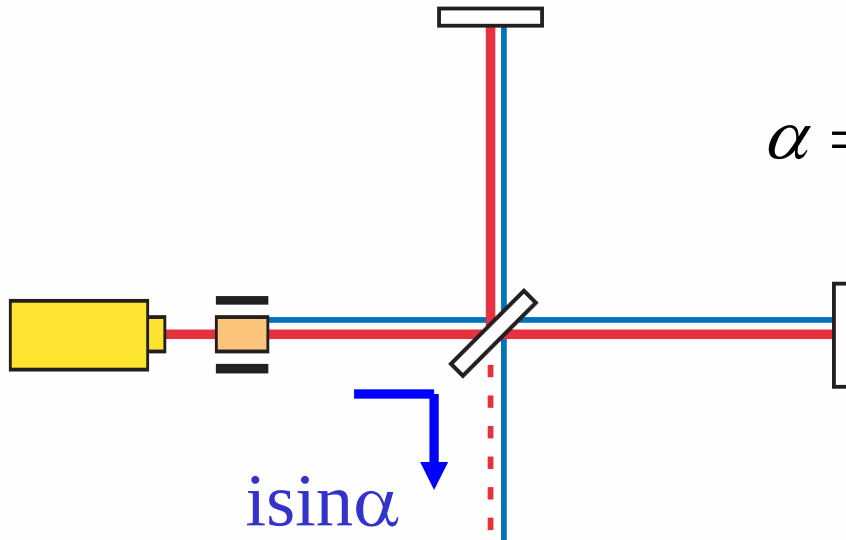
f_1 : PRCを共振

f_2 : PR-SRCを共振

f_1 と f_2 のアシンメトリを変えてI+とIsを分離

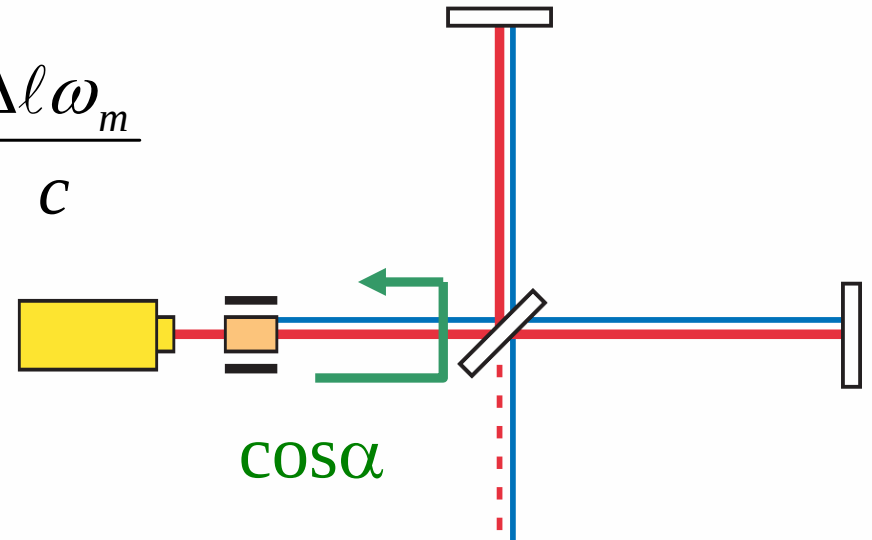
変調周波数とアシンメトリ

マイケルソンの透過率



マイケルソンの反射率

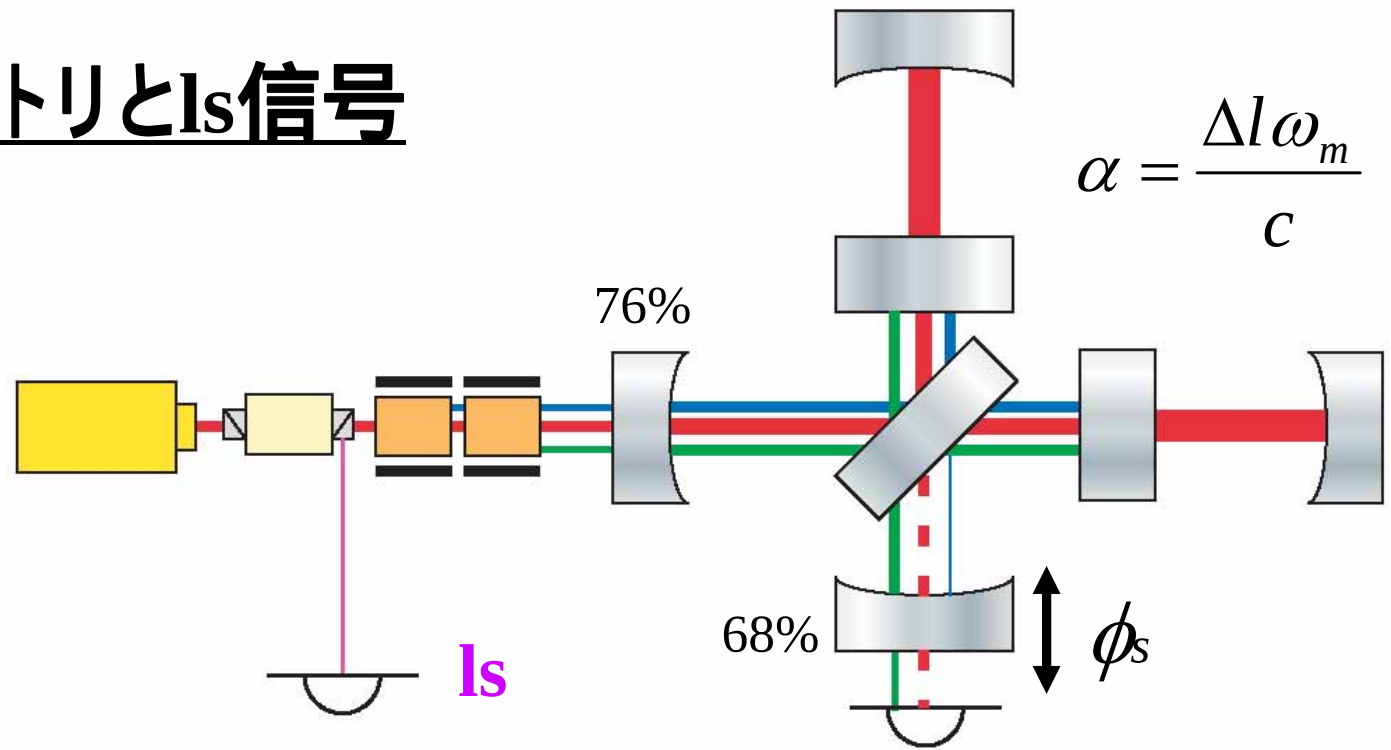
$$\alpha = \frac{\Delta\ell\omega_m}{c}$$



PRFPMIでは f_1 にとっての α は0.1 ~ 0.3程度

→ PR-RSEで α は f_1, f_2 にとってどれくらいが適当か？

アシンメトリとIs信号



$$l_s \approx \phi_s \times \frac{it_p^2 r_s \sin^2 \alpha}{(1 + r_p r_s - (r_p + r_s) \cos \alpha)^2}$$

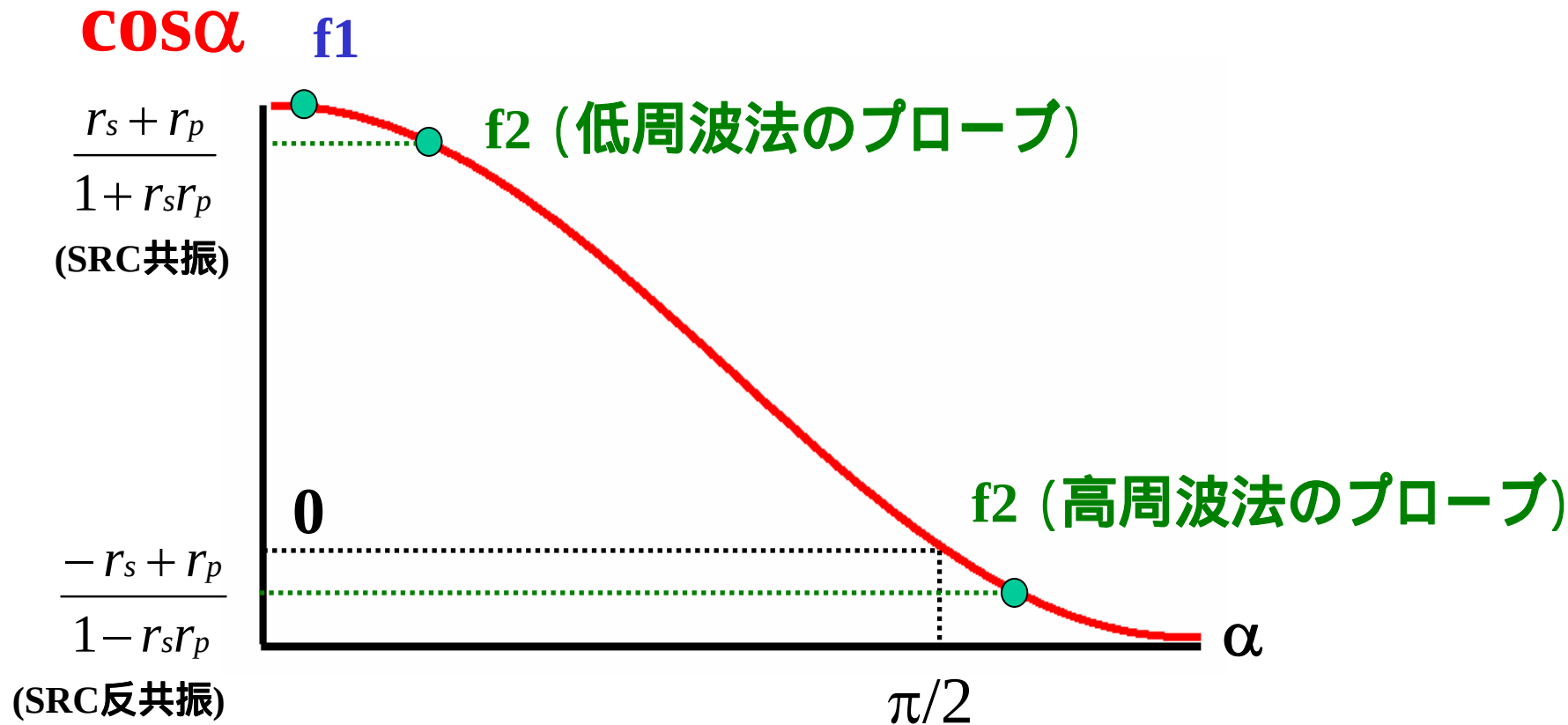


Isの最大化条件

$$\cos \alpha = \frac{r_s + r_p}{1 + r_s r_p}$$

SB周波数の選び方

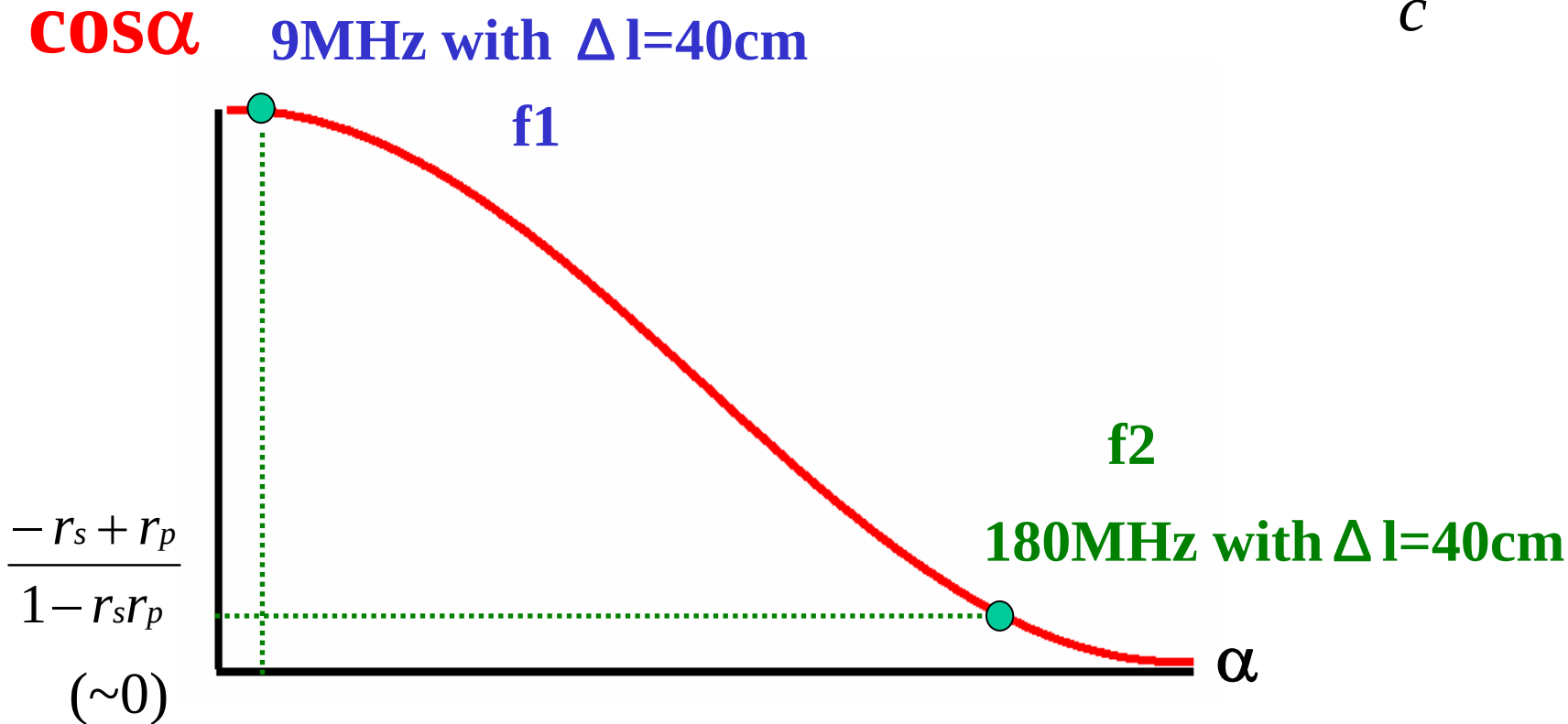
解が2種類ある！！



低周波法	→	私のD論実験
高周波法	→	AdLIGOの制御法

高周波法 (LIGO法)

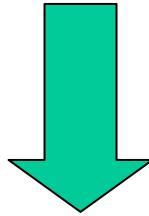
$$\alpha = \frac{\Delta l \omega_m}{c}$$



これだとL-を取得するSB (f2) の周波数が高すぎる
(AdLIGOではDC readoutを用いるので構わない)

15-50MHz 法(LCGTデフォルトデザイン)

9-180MHz法は f_2 が高周波すぎる
→ L-の量子効率が下がる



直接の倍数でなく、公約数(5MHz)の3倍(15MHz)
と10倍(50MHz)にして f_2 の周波数を下げた

15-50MHz 法 (LCGTデフォルトデザイン)

$$\alpha = \frac{\Delta l \omega_m}{c}$$

COS α

9MHz with $\Delta l=40\text{cm}$

f1

15MHz with $\Delta l=1.5\text{m}$

アシンメトリが大きくなる

180MHz with $\Delta l=40\text{cm}$

f2

50MHz with $\Delta l=1.5\text{m}$

$$\frac{-r_s + r_p}{1 - r_s r_p}$$

α

DPにほぼもれない
(BP → DP: 0.7%)

DPにかなりもれる
(BP → DP: 40%)



Is信号が相殺して減ってしまう

FINESSEで計算した誤差信号の量(A.U.)

	L+	L-	l+	l-	ls
取得ポート	BP(PO)	DP	BP	DP	PO
9-180MHz	(7140)	261	0.064	0.018	0.273
15-50MHz	2370	152	0.044	0.018	0.166

15-50MHz法はlsの信号取得効率が低い



信号効率を保ったままf2の周波数を下げる方法がある
= 低周波法

15-35MHz 法

(低周波法)

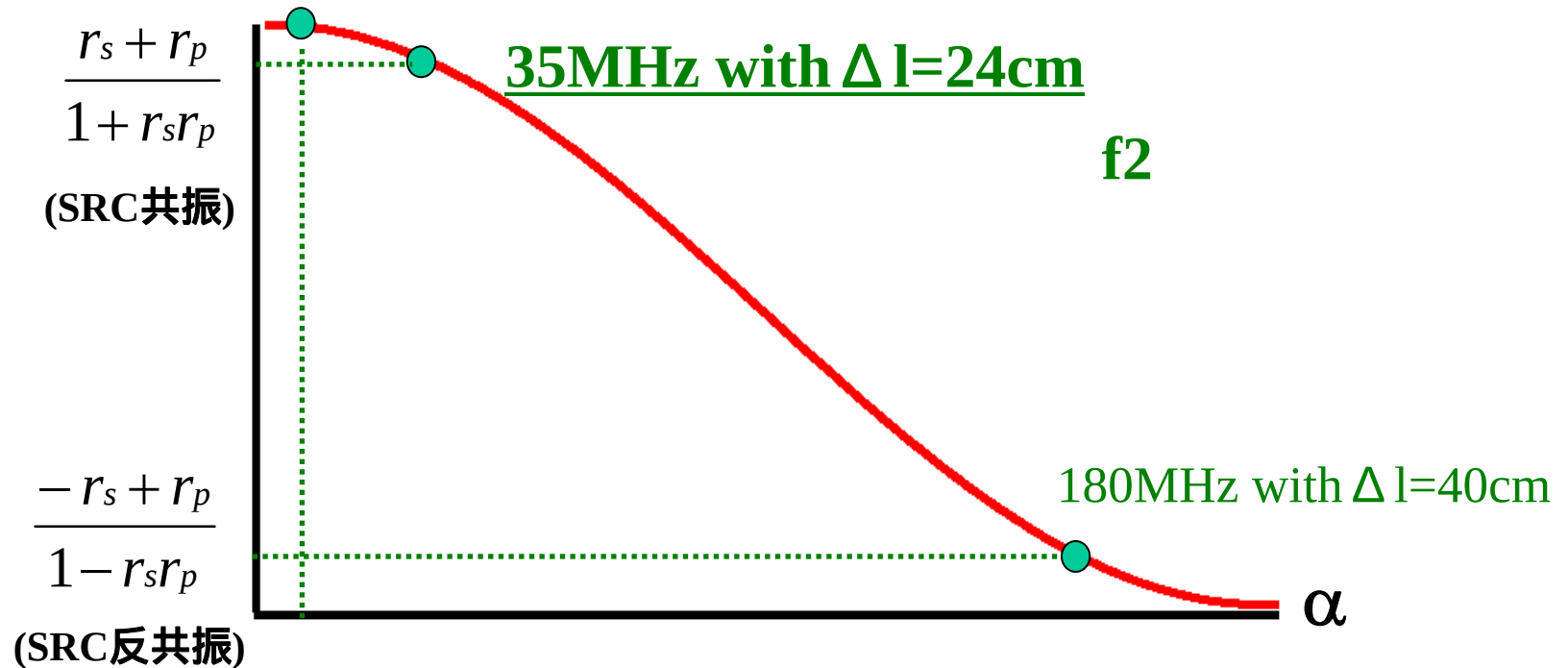
9MHz with $\Delta l=40\text{cm}$

||

COS α

15MHz with $\Delta l=24\text{cm}$ f1

$$\alpha = \frac{\Delta l \omega_m}{c}$$



lsを最大化する2つの解のうち低い方を用いる

f2の周波数も低く、アシンメトリも小さい

FINESSEで計算した誤差信号の量(A.U.)

	L+	L-	l+	l-	ls
取得ポート	BP(PO)	DP	BP	DP	PO
9-180MHz	(7140)	261	0.064	0.018	0.273
15-50MHz	2370	152	0.044	0.018	0.166
<u>15-35MHz</u>	<u>(8760)</u>	<u>265</u>	<u>0.050</u>	<u>0.018</u>	<u>0.281</u>

15-35MHz法はlsの信号取得効率が同じまま
9-180MHz法よりL-取得用の周波数が低い

15-35MHz法の信号取得マトリクス

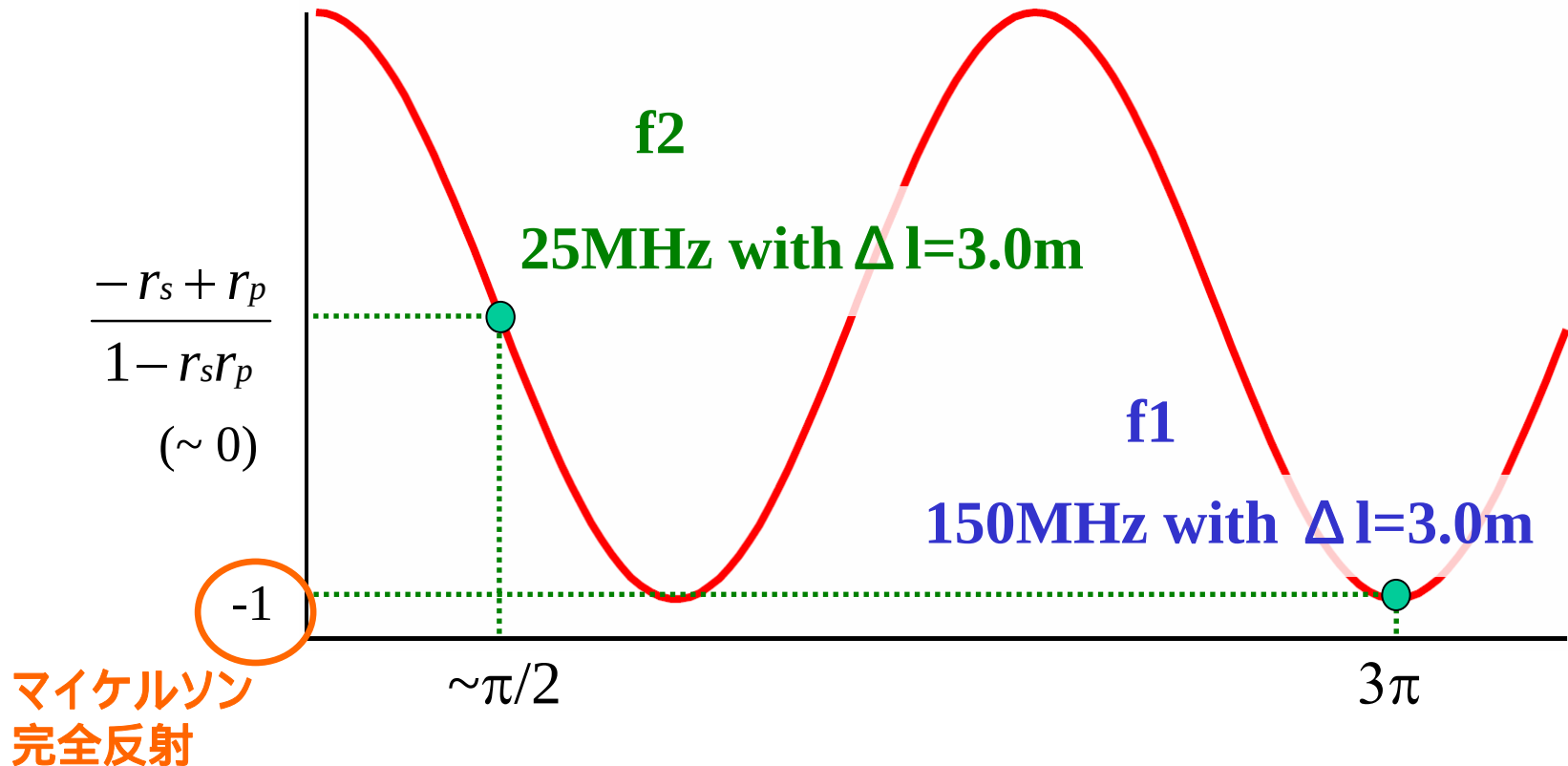
	L+	L-	l+	l-	ls
PO_35MHz	1	-0.000	-0.001	-0.000	0.001
DP_35MHz	-0.000	1	-0.000	0.001	-0.000
BP_DDM	-0.000	0.000	1	0.009	0.849
DP_DDM	0.000	0.000	-0.004	1	0.023
PO_DDM	0.003	0.000	-0.987	0.124	1

- 直接対角化できてはいない
- 演算による対角化はできる (BP+PO, BP-PO)

150-25MHz法 (対角化法)

この方法だと l_+ , l_- , l_s の対角化が可能となる (検討レポート等参照)

COS α



- DPには(L-と) l_- しか現れない
- 「マクロずらし」により l_+ と l_s も分離

150-25MHz法の信号取得マトリクス

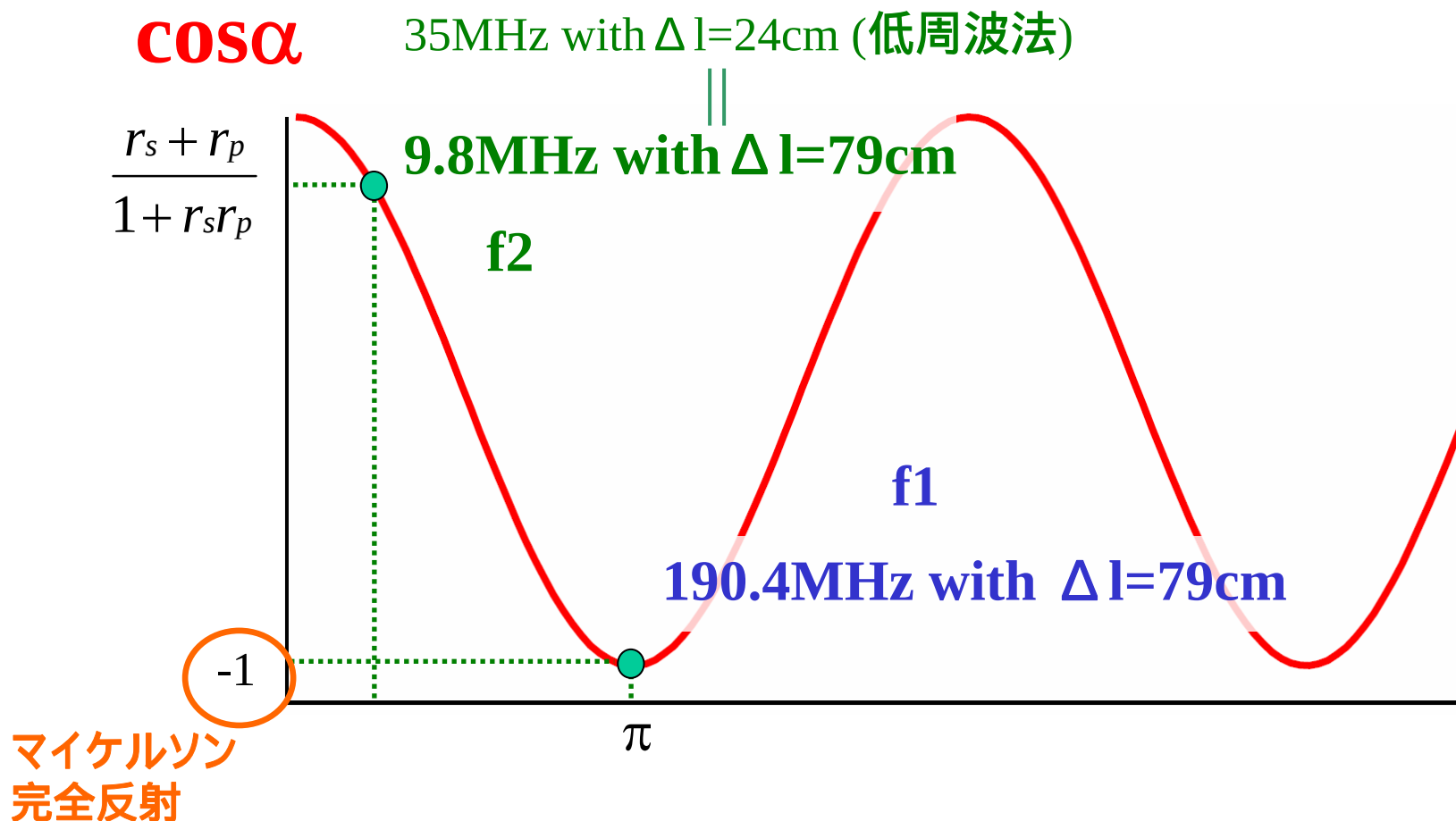
	L+	L-	l+	l-	ls
BP_25MHz	1	0.000	-0.000	0.000	-0.001
DP_25MHz	-0.000	1	-0.000	0.001	-0.000
PO_DDM	-0.001	0.000	1	0	0
DP_DDM	0.000	0.001	0	1	0
PO_DDM	0.001	-0.000	0	0	1

中央部分は完全に対角化

ただしこのままだとアシンメトリが3 m

190.4-9.8MHz法 (合併法)

7:136



アシンメトリがやや小さくなり、対角化も可能である

4つの方法をアシンメトリの取り方で分類

		f1(reso at PRC)	
		~0.1rad	π or 3π
f2(reso at PRSRC)	~ $\pi/2$	LIGO法 (9-180MHz および15-50MHz)	対角化法 (150-25MHz)
	0.165rad	低周波法 (15-35MHz)	合併法 (190-10MHz)

4つの方法の長短 ~ 対角化とアシンメトリについて

		f1(reso at PRC)	
		~0.1rad	π or 3π
f2(reso at PRSRC)	~ $\pi/2$	LIGO法 演算対角化のみ アシンメトリ 1.5m	対角化法 直接対角化可能 アシンメトリ 3.0m
	0.165rad	低周波法 演算対角化のみ アシンメトリ 0.23m	合併法 直接対角化可能 アシンメトリ 0.79m

対角化はなぜ必要か？ アシンメトリは何mまで許されるか？

対角化とアシンメトリの要請

対角化していないことの問題点

- ・ ショットノイズリミテッドフィードバックノイズが感度を悪化？
→ 1-の行が小さければ影響はない
- ・ ロックアクイジションに支障？
→ 40mで成功しており問題ない

どちらにしろ演算による対角化で補うことが可能

アシンメトリが大きいことの問題点

- ・ モードマッチングが下がり腕内パワーが低下？
→ レイリーレンジが長いので問題ない
- ・ 周波数雑音が増加？
→ 両腕間フィネス差の方が大きく問題にならない
- ・ サイドバンドアンバランスの原因に？
→ 鏡の曲率誤差の方が大きく問題にならない

なんとなくイヤな感じがするだけで雑音を生む根拠はない

その他の細かな違い

- 完全反射SBの方がロバスト性が高いかも(なんとなく)
- マクロずらしによる対角化とDetuned-RSEへの拡張性が両立しない場合もありそう(たぶん)
- Double Demodulationの周波数が高いと l -取得の際に量子効率が低下し、そのshot noiseが L -感度を汚すという可能性がある(変調指数をあげれば解決しそうだが)
- BPやPOにもOMCを置いたら、 f_1 と f_2 に周波数の違いが少ない方がfinesseを高くできる

わたしのおすすめ

どちらかといえば
こっち



その1

f1 : 60MHz
f2 : 10MHz
アシンメトリ7.5m
マクロずらしなし

その2

f1 : 15MHz
f2 : 35MHz
アシンメトリ0.2m
マクロずらしなし

ポイント:

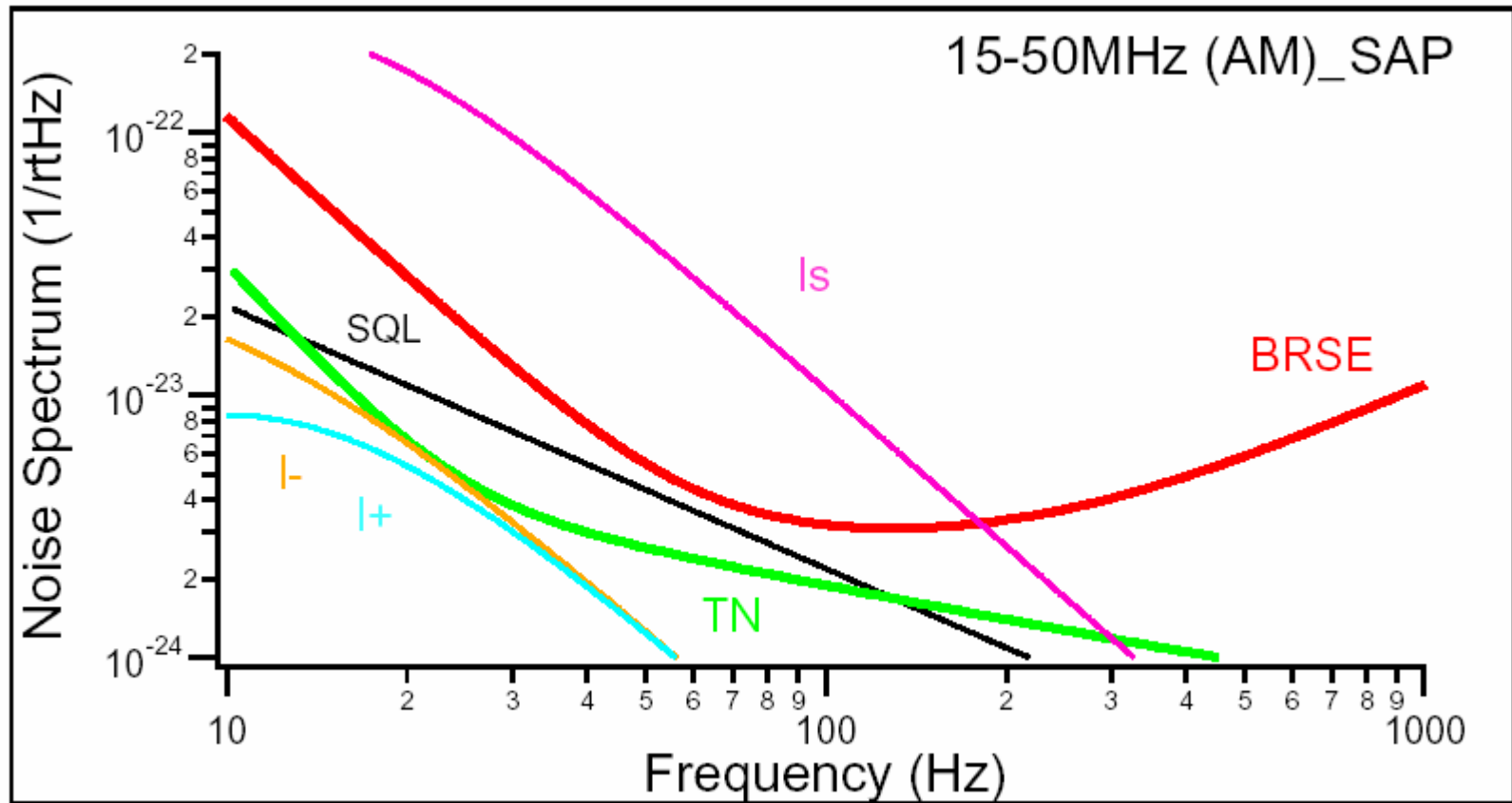
- 周波数は低い方がよい
- アシンメトリ長は関係ないはず
- マクロずらしよりdetuneへの拡張性
- 完全反射SBに期待を込める

ポイント:

- 周波数は低い方がよい
- アシンメトリも短い方が直感的に安心
- Detuned RSEへの拡張も可能
- 演算による対角化も可能

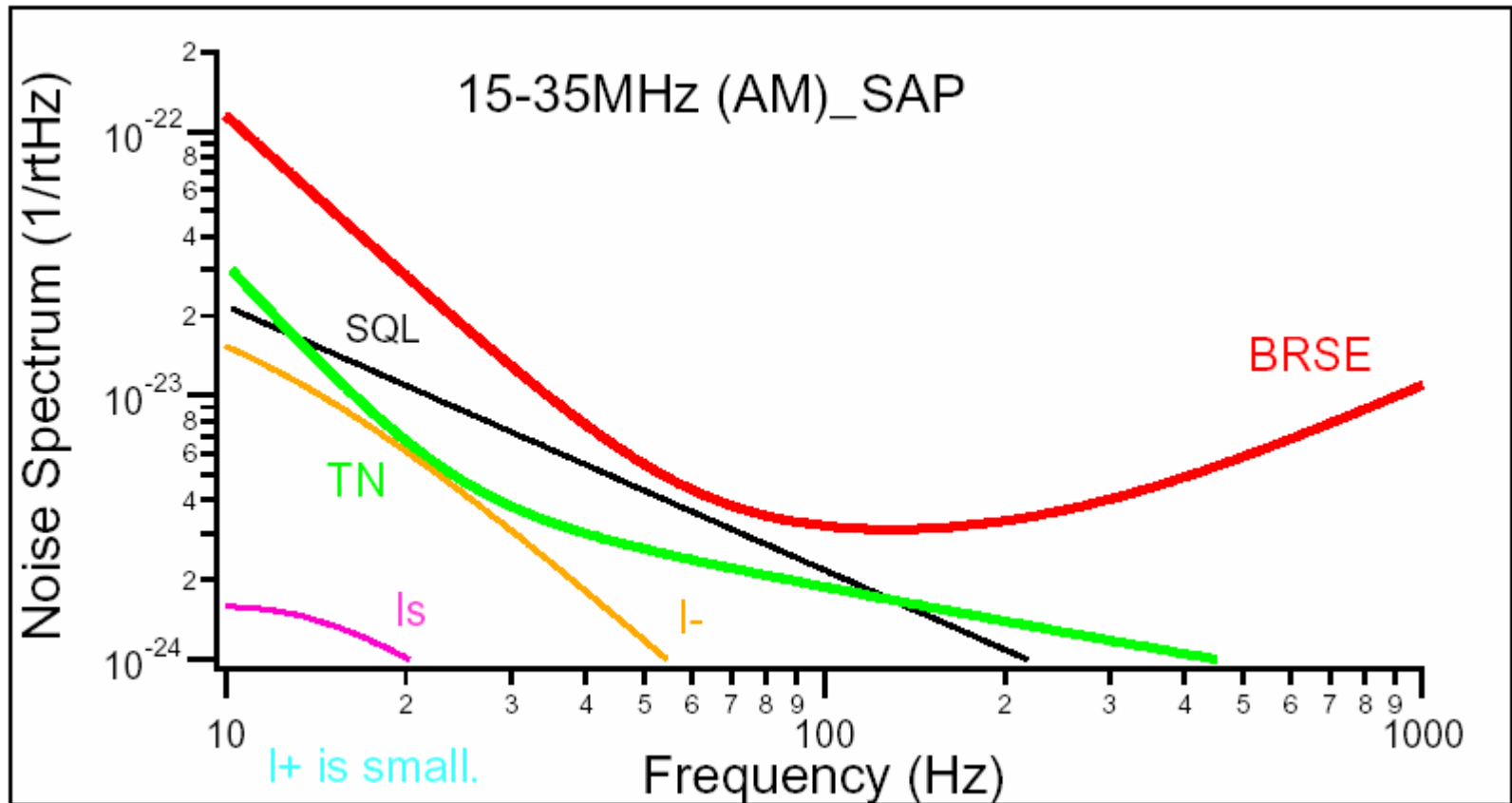
どちらも周波数は低くマクロずらしはなしで、
「アシンメトリが小さい方がなんとなくよい」というのと
「完全反射サイドバンドの方がなんとなくよい」との選択

フィードバックノイズスペクトル



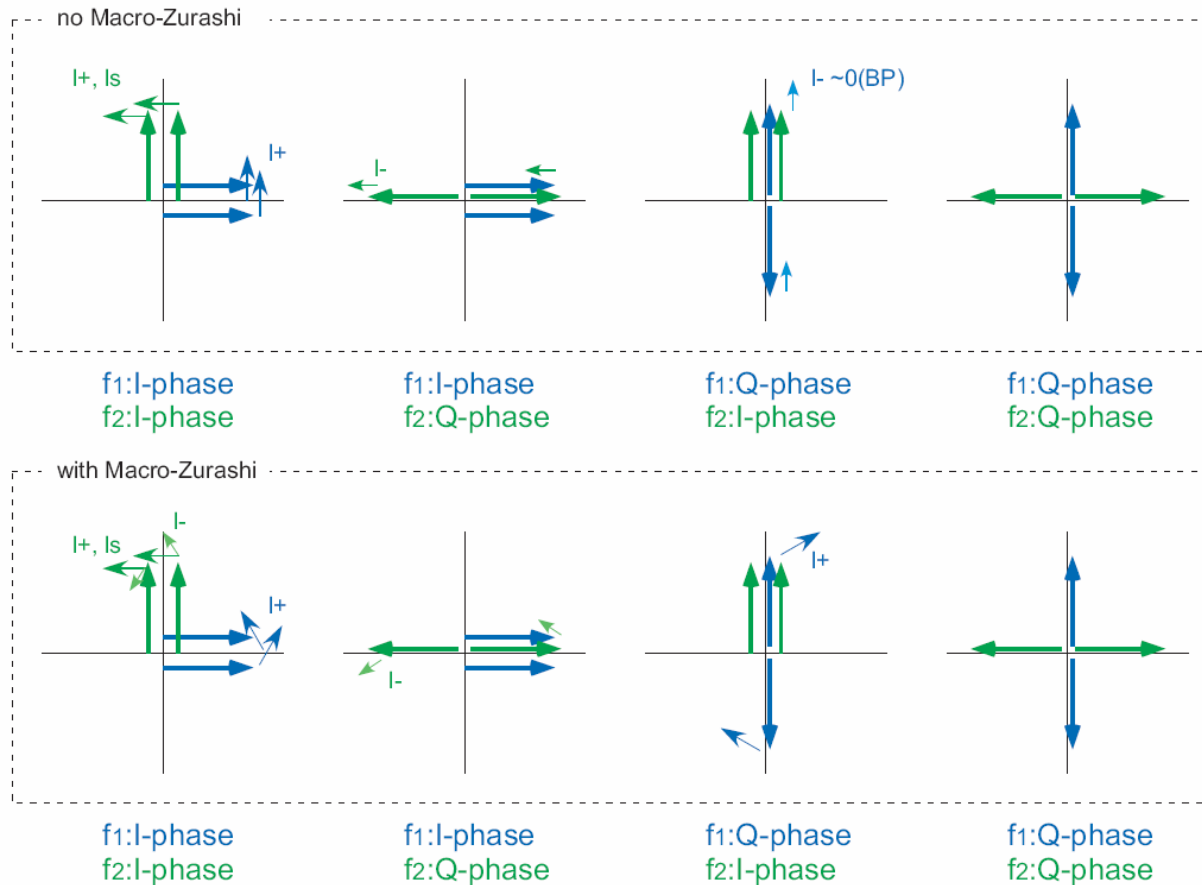
制御のUGFを10Hzにした場合 (UGF付近で f^{-2} のサーボを仮定)
15-50MHz法だとIsが感度を悪化させる

フィードバックノイズスペクトル



制御のUGFを10Hzにした場合 (UGF付近で f^{-2} のサーボを仮定)
15-35MHz法だと感度に影響はない

対角化の説明1



マクロずらしにより同じポートの異なるチャンネル(復調位相)で各々違う自由度のみを持つ信号を取得することができる

対角化の説明2

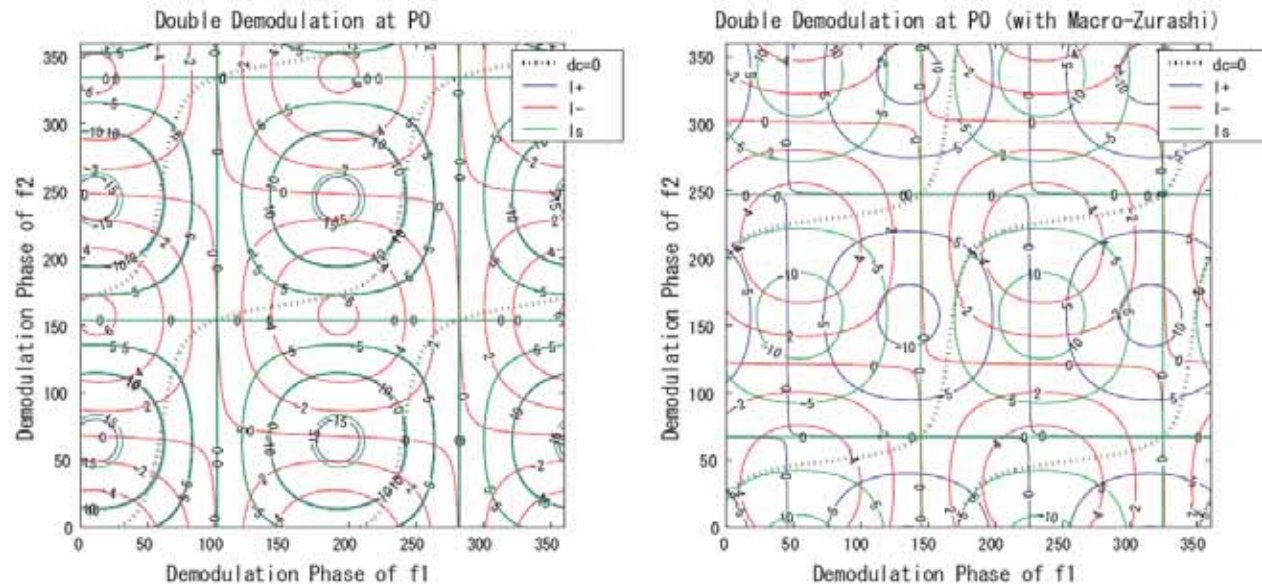


図 4.1: LIGO 法における PO での復調位相平面。左がマクロずらししないときのもので右がマクロずらししたときのものである。

Shot noiseを減らすため I_- はDPで取得すべきだが、LIGO法でマクロずらしすると、POで対角化される一方、DPで I_+ と I_- が重なってしまう

