



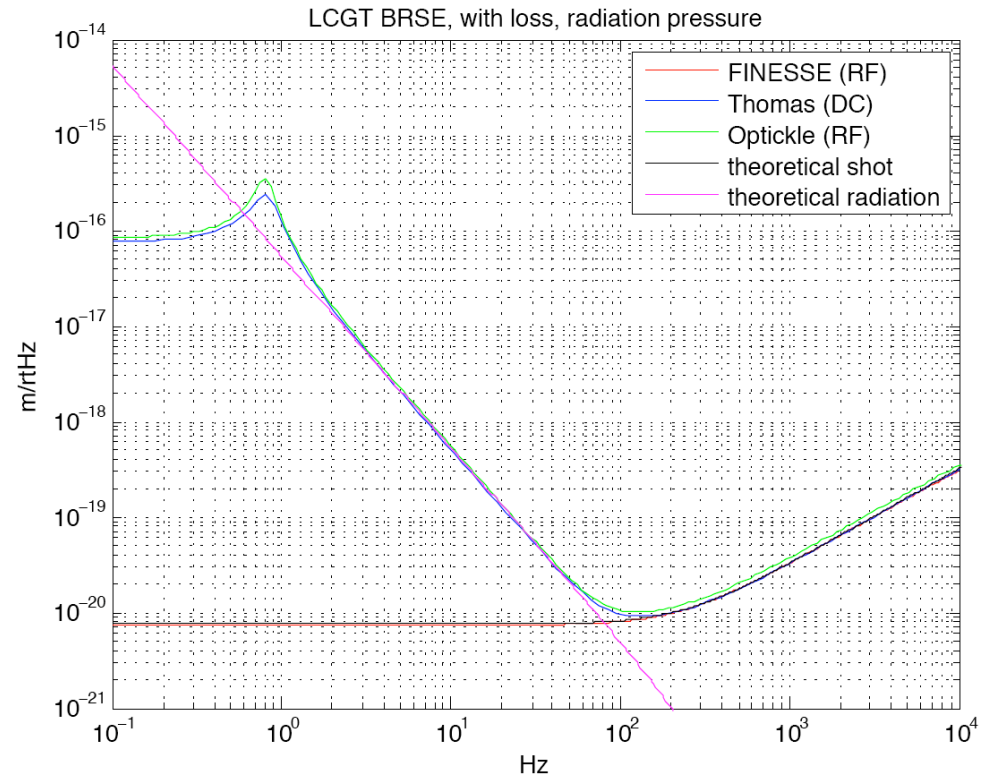
2005年のLCGTデザインの検証

2009/7/15(木) LCGT干渉計帯域幅特別作業部会
東京大学宇宙線研究所 宮川 治



安東モデル(2005年)での検証

- キャリアパワー単体のパワーが75W(サイドバンドは75Wに含まれない)
- 10MHzの変調、変調指数0.1(ただしキャリアパワーは減らない、その分トータルパワーを増やしている)
- RF 10MHz demodulation at AS port
- 鏡の反射率
 - R_EM: 99.995%
 - R_FM: 99.6%
 - R_PR: 80%
 - R_SR: 77%
- Loss等
 - 鏡のHR面でのロス: 10ppm
 - 鏡のAR面反射率: 0.1%
 - contrast defect: 99.5%
 - Additional loss on arm: 1000ppm
 - BS AR loss: 2000ppm
 - 量子効率: 0.9
- PRG: 10.63
- ARM gain: 970
- ARM power(片腕): 385kW



- 理論と、3種類のシミュレーションがほぼ一致
- Thomas toolはDC readout(しかできない、というよりRFの計算はまったくできない)
- OptickleはRF readout、ただし真空場がCarrierにしか入っていないためRFでは10%ほど計算結果がずれる(DC readoutにすればほぼ完全に一致)
- 最新バージョンのOptickleは真空場が自動的に入るが、RFでもDCでも計算結果があわない。バグの可能性有り。ソースコードを見直す等、詳細な検証が必要。



Loopnoise計算のために追加したパラメータ等

- トータルパワーで75W (carrier + f_1 (10MHz PM 5次まで) + f_2 (60MHz AM))
- 2004年に提案されたSato, Somiya, Kawazoe, Kokeyama法を踏襲、すなわちMICHで f_1 全透過、 f_2 全反射、small系の信号はdouble demodulation(DDM)で取得
- Mach-Zhenderの各腕で変調、変調指数 $m_1=0.2$, $m_2=0.4$ 、これで実効的に変調指数0.1となる
- 各信号取得ポート: $[L+, L-, l+, l-, ls] = [\text{REFL } 1I, \text{AS } 1Q, \text{REFL DDM}, \text{AS DDM}, \text{PODDM}]$
- 各鏡のHR面のロス: 10ppm->10, 30, 50ppmの3通り
- BS AR loss: 2000ppm(両腕)->1000ppm(片腕)
- PO, SR AR loss: 0ppm->1000ppm
- FM, EM 基材吸収 loss: 20ppm/cm x 15cm
- BS, PR, SR, PO 基材吸収loss: 鏡の厚さ不確定のため、とりあえず50ppm/cm x 10cmを仮定
- $l-$ DDM用 pick off:10%
- 制御帯域幅: $[L+, L-, l+, l-, ls] = [10k, 1k, 1k, 10, 1k] \rightarrow [30k, 200, 50, 50, 50]$
- PD最大入射パワー: 100mW for $L+, l+, l-, ls$ 、2.5W for $L-$



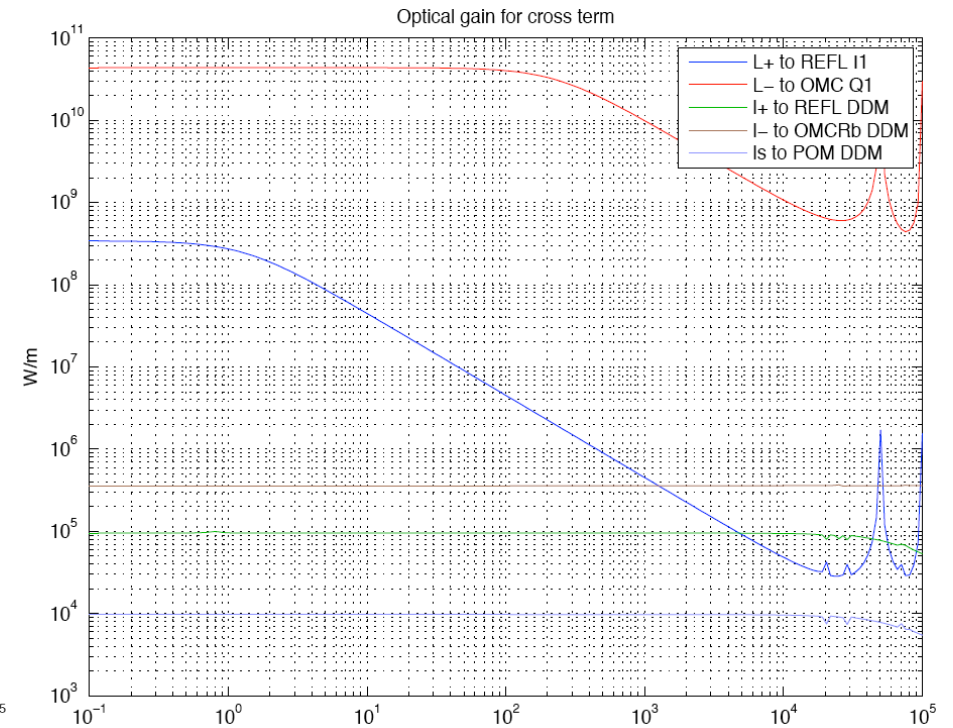
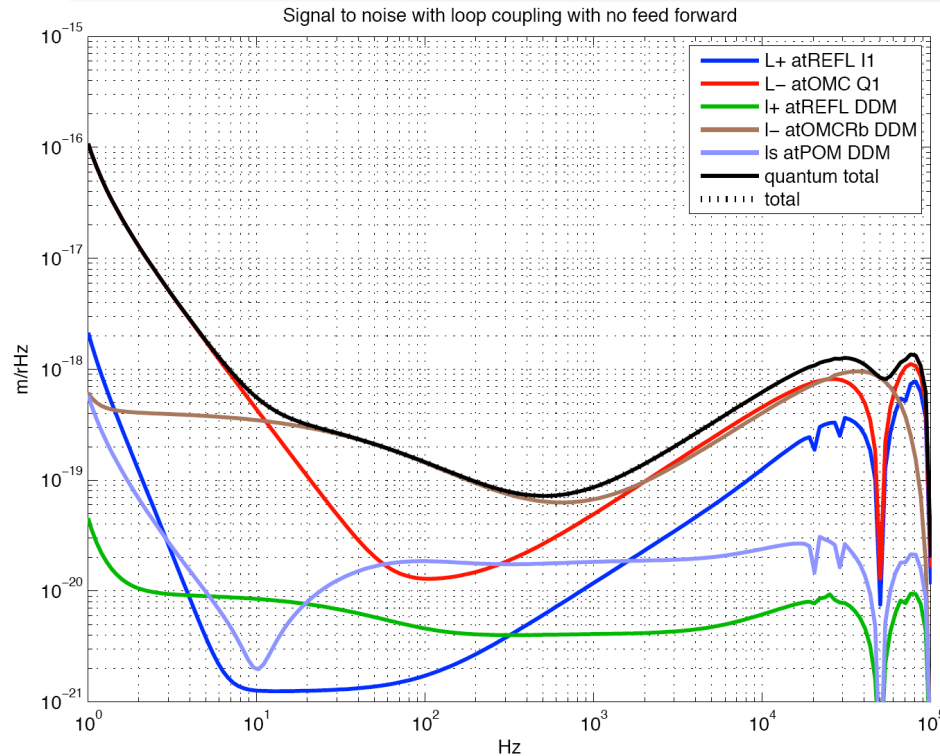
もう少し現実的な感度

	Original	loopnoise		
	2005年	10ppm HR loss	30ppm	50ppm
Input CA power	75.0W	60.1W	60.1W	60.1W
Power recycling gain	10.63	10.56	9.33	8.30
Arm reflectivity	0.938	0.938	0.919	0.900
Arm gain	970	970	965	960
Arm power	385kW	306kW	269kW	238kW
Shotnoise 感度変化	1.00	1.16	1.24	1.32
Radiation 感度変化	1.00	0.891	0.836	0.789

- Mach-Zhender、AM-PMは実効変調指数0.1でcarrierを約20%減少
- 鏡のHR面のロスに感度は大きく依存
- 30ppmでさえも実現は厳しい(LIGO山本氏)
- Non stationary shotnoiseは考えていないので、RFの場合なので現実には更に $\sqrt{1.1}$ 倍ほど感度は悪化する -> DC readoutの方が少し有利



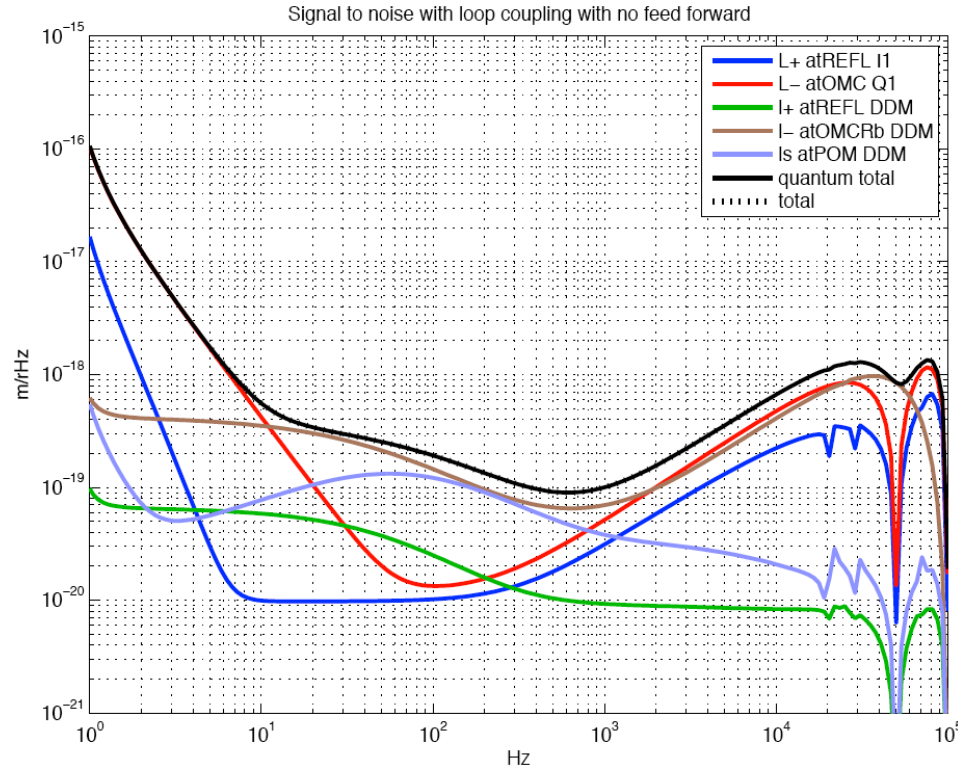
LoopnoiseとOptical gain



- 各ポートで欲しい信号が最大になるように復調位相を調整
- +系の信号の混入具合は非対称性、復調位相に大きく依存するのでまだ改善の余地有り
- このモデルでは非対称性はBSのAR面のロスしか入っていないので、現実的には悪化する方向
- 上記2つの改善と悪化、及びマクロずらし等もあるので、+系はなんとかなるのでは
- l-の混入は腕のfinesseでほぼ一意に決まってしまうのでどうしようもない
- DDMのオプティカルゲインが小さすぎるのが一番の原因
- Single demodulationを考えた方がいいかも



更に、干渉計に非対称性がある場合



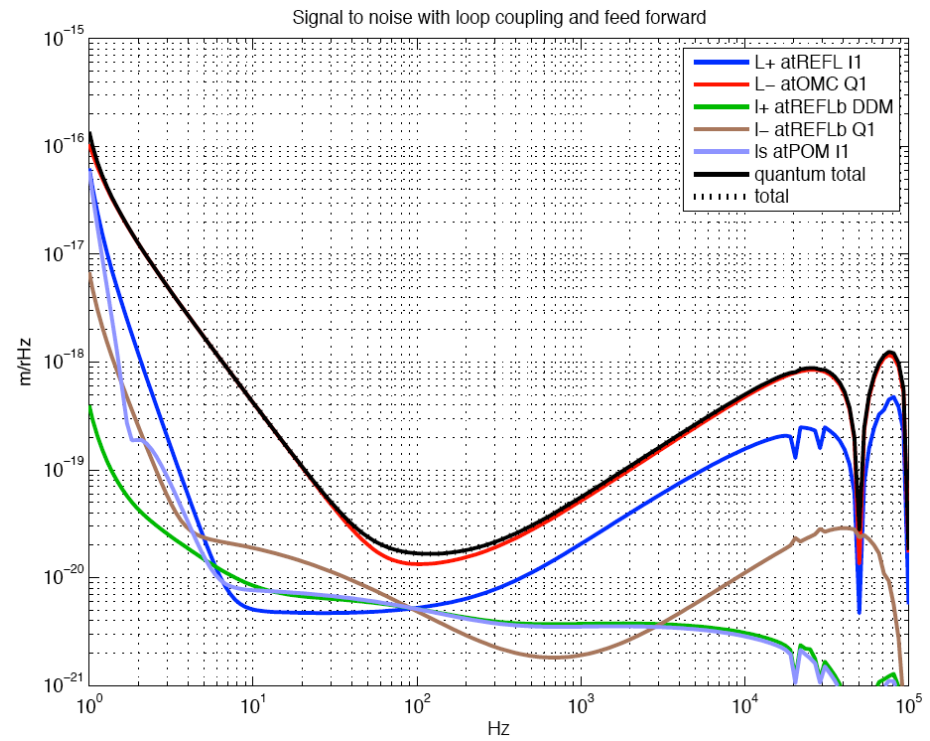
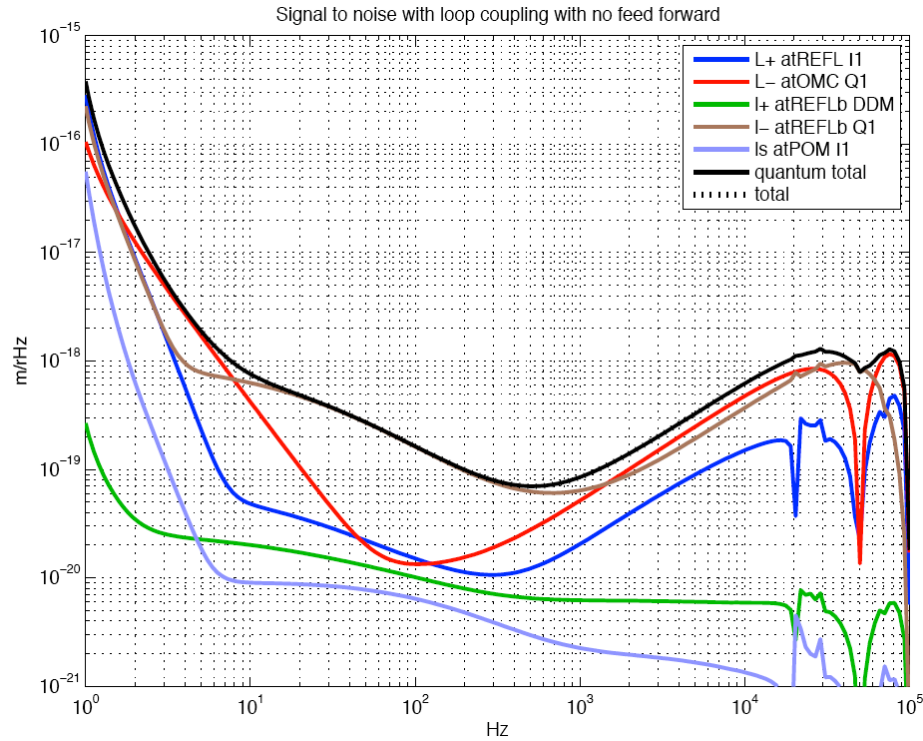
- FMの透過率に ± 100 分の1のずれ
- EMの透過率に ± 5 ppmのずれ
- 上記非対称性を入れるためEMの反射率を0.99995から0.99994に変更
- $l+$ と l_s による $L-$ への混入が悪化
- これは $L-$ への $L+$ の直接の混入比が悪化したことにより、 $l+$ と $l_s \rightarrow L+ \rightarrow L-$ という混入経路となった
- $l-$ の帯域幅を20Hzに制限して、Feed forwardを入れても全くだめ
- 非対称性も考えるとやはりsingle demodulation (SDM)の方がいいかも

Normalized Optical gain at 0.100000 Hz

	dem.ph	L+	L-	l+	l-	l _s
REFL I1	162	1.00e+00	-1.03e-02	1.92e-03	1.92e-05	1.03e-03
OMC Q1	-96	-2.43e-02	1.00e+00	1.13e-05	1.01e-03	1.37e-05
REFL DDM	-46, -81	9.92e-04	3.65e-05	1.00e+00	1.08e-02	6.47e-01
OMCRb DDM	-98, 70	-1.16e-04	6.20e-03	-1.73e-03	1.00e+00	1.97e-03
POM DDM	-130, 171	8.34e-03	-6.57e-05	-9.94e-01	1.63e-02	1.00e+00



Single demodulation



- 前ページと同様の非対称性有り、single demodulationを考えてみた
- $l+$, $l-$, ls をREFL DDM, REFL 1Q, POM 1Iからとる
- f_2 がAMのためsingle demodulationで使用できず、ポートが不足、そのためREFL DDMを残した
- かなり厳しいので $l-$ ループの制御帯域幅を50Hzから20Hzとした
- Feed forward無しでは厳しい
- Feed forward有りなんとかOK
- ロックはDDM、感度出しはSDMという棲み分けもできる



まとめ

- より現実的なパラメータでLCGTの2005年のモデルを検討
- M-Zによるcarrierの大幅な減少に注意
- 鏡のHR面のロスに感度が大きく依存
- DDMはoptical gainが小さいためshotnoise limited sensitivityが悪い
- そのためL-に混入するノイズが大きくなる
- 干渉計の非対称性を考慮すると更にその傾向は顕著になる
- DDMはロックに使い、感度はSDMで出す方が現実的

- 次の方針
 - 麻生君が2009年度版のパラメータを出してきたので計算してみる
 - 3変調をどうやっていれるか?