



光路長制御の各自由度間の カップリングによるノイズ

2009/7/2(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



目的

- Length Controlのループ間のカップリングがLCGTで問題にならないか検証する
- 干渉計Simulation toolは数あるが、その中で輻射圧に対応し、量子ノイズまで計算できるMatlabベースで柔軟なOptickleを使い計算してみる
- 各ポートでのQuantum noise limited sensitivityを求めて、各ループ間のカップリングがDARMをどれだけ汚すか計算する。

とりあえず今日は中間発表



ツールとしての妥当性の検証1:安東モデル(2005年)との比較

- L -の shotnoise limit sensitivity を求めるための解析的なモデル(Matlab)
- 問題点
 - キャリアー単独のパワーが75Wで、サイドバンドのパワーが考慮されていない
 - 変調指数が定義されていない
 - lossは入っているがmirror lossが10ppmと低すぎる->50ppm程度にするべき
 - Pick off mirrorがPRMとBSの間に入っているため、PRC内でのロスが大きい
 - DRMI部のキャビティー長が定義されていないのでSignal Matrixなどは計算していない
- 細かいミス
 - ゲインがパワーでなく振幅で計算されていた
 - BSのARロスが実質的に両腕に入っていることになっていて、倍入っている
- 現状:Optickleでの結果と0.1%程度の精度で結果が一致。



ツールとしての妥当性の検証2: 佐藤、苔山、川添モデル(2007年)との比較

- FINESSEを使ったシミュレーション、規格化されたオプティカルゲインマトリックスを求めている。同時に解析解も求められていて、両者は一致しているので信頼がかけられるとのこと。
- 問題点
 - 佐藤モデルと、苔山川添モデルで多少パラメータが違う
 - ロス、非対称性が入っていないため、現実的なパラメータと離れている
 - 規格化されたオプティカルゲインのみしか求めていなく、各自由度のオプティカルゲイン、ショットノイズ、shot noise limited sensitivityなどが求められていない
 - Mach Zehnderが考慮されていない
 - 解析、シミュレーションでマトリックスが多少違う。特にIs。
 - Delocationが考慮されているため、マトリックスの比対角化成分が復調位相の誤差に大きく依存する
- 現状
 - 定性的にはv、解析、FINESSE、Optickleともにあっているが、定量的にはどれも最大ファクター1.5くらいのずれがあるところがある。特にIs。
 - 符号が3つの計算であわない



ツールとしての妥当性の検証2: 佐藤、苔山、川添モデル(2007年)との比較

- 解析解

ポート	復調方法	復調位相	L_+	L_-	l_+	l_-	l_s
SP	f_1	0	1	0	3.6×10^{-3}	0	2.6×10^{-3}
AS	f_1	90	0	1	0	1.0×10^{-3}	0
SP	$f_1 \otimes f_2$	$0 \otimes 0$	1.7×10^{-3}	0	1	0	7.3×10^{-1}
AS	$f_1 \otimes f_2$	$90 \otimes 0$	0	1.0×10^{-3}	0	1	0
PO	$f_1 \otimes f_2$	$0 \otimes 0$	-3.2×10^{-4}	0	-1.3×10^0	0	1

- FINESSE

	dem.ph	L+	L-	l+	l-	ls
REFL I1	0	1	-4.5584e-08	-0.0036154	-4.2343e-05	0.0025972
AS Q1	90	-2.3495e-12	1	-3.6736e-31	0.0010019	6.7513e-19
REFL DDM	136,177	-0.0018743	2.2379e-07	1	0.00020651	-0.75766
AS DDM	158,90	-1.0471e-09	0.0010027	1.0396e-06	1	-3.9991e-09
POM DDM	159,57	0.00038435	-8.7836e-07	0.76395	-0.0008141	1

- Optickle

	dem.ph	L+	L-	l+	l-	ls
REFL I1	162	1.00e+00	3.13e-08	3.29e-03	3.49e-05	2.20e-03
AS Q1	-96	-1.05e-08	1.00e+00	8.71e-07	1.03e-03	-1.24e-06
REFL DDM	-45,-74	1.84e-03	1.62e-08	1.00e+00	3.44e-06	7.27e-01
AS DDM	-97,71	3.63e-10	1.00e-03	-7.30e-07	1.00e+00	1.18e-06
POM DDM	-132,175	1.75e-04	-9.96e-09	-9.73e-01	-1.12e-05	1.00e+00



その他LCGTをシミュレートする時の問題点

- シミュレーションに必要ないくつかの重要なパラメータが定義された形跡がどの文書を見ても無い
 - modulation index
 - 量子効率
 - Pick offの位置
 - Pick offの反射率
 - 最大PD入射パワー
- いくつかの重要なパラメータが文書、ソースコードに寄ってバラバラ
 - 変調周波数
 - キャビティの長さ
 - 鏡のロス

干渉計のパラメータのまとめ

<http://gw.icrr.u-tokyo.ac.jp:8888/JGWwiki/LCGT/subgroup/ifo/ISC/TaskList/CurrentStatus>



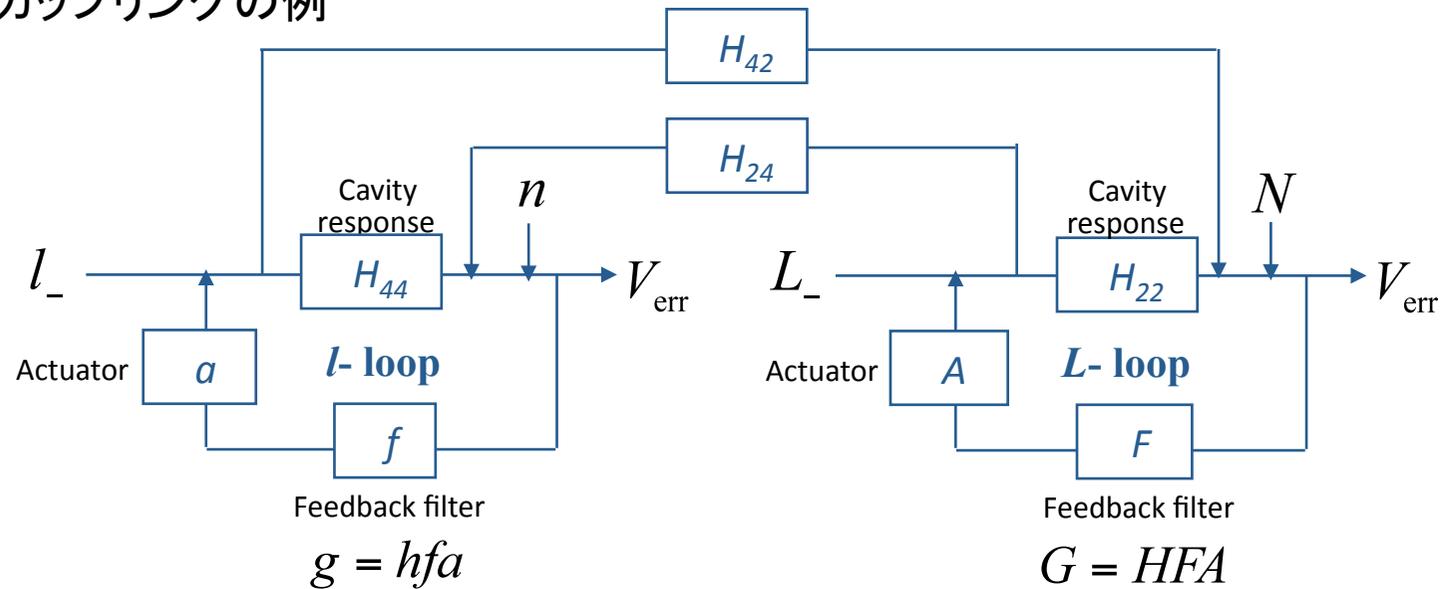
Simulationの方針

- 各ポートでのQuantum noise limited sensitivityを求めて、各ループ間のカップリングがDARMをどれだけ汚すか計算する。
- パラメータ等
 - Laser power → Carrier, SB込みで75W
 - modulation index → 0.1
 - PDへの最大入射パワー → 1PD当たり100mW、但しASは25個使う
 - 量子効率 → 0.93
 - 制御帯域 → LCGT Design Documentに書いてあった値
L+:10kHz, L-:1kHz, l+:1kHz, l-:10Hz, ls:1kHz
はあまり現実的でないので
L+:30kHz, L-:200Hz, l+:50Hz, l-:50Hz, ls:50Hzとする



Cross coupling

クロスカップリングの例

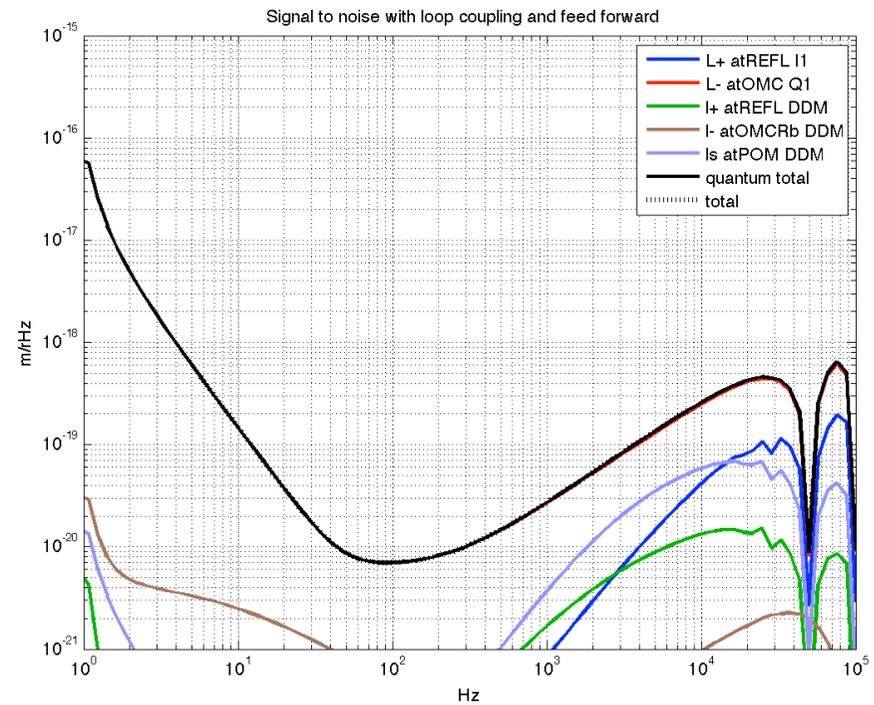
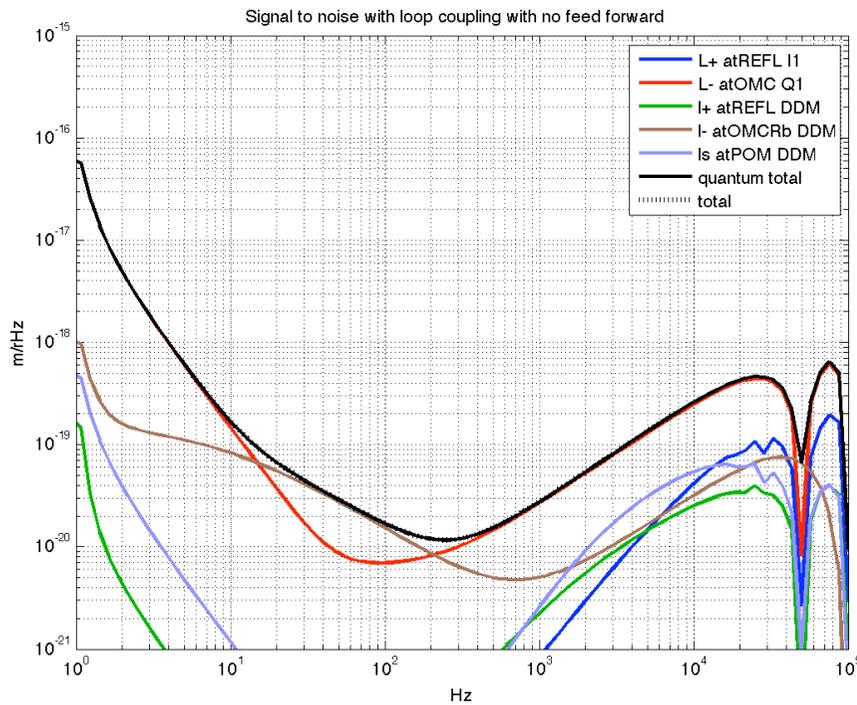


- 実際には5自由度のカップリングがある
- 1次のカップリングのみでなく、2次、3次・・・とあるので、計算では5x5のマトリックス方程式を解いて、 L_- へのカップリングを求めている
- 輻射圧、輻射圧雑音も全自由度に考慮してある
- 仮定
 - f^{-1} のフィードバックフィルター



進展状況

- 佐藤、苔山、川添モデルをの検証
– ロス無し等理想的な場合

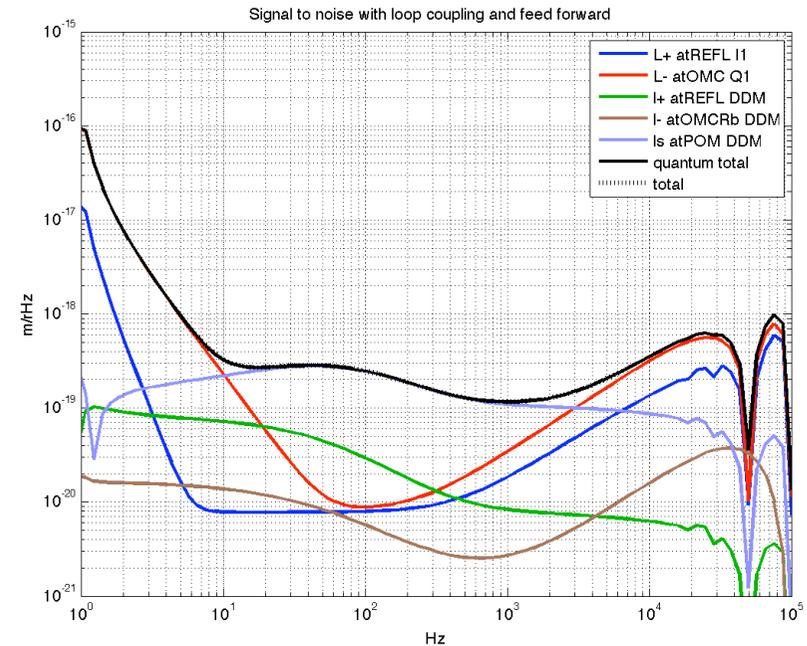
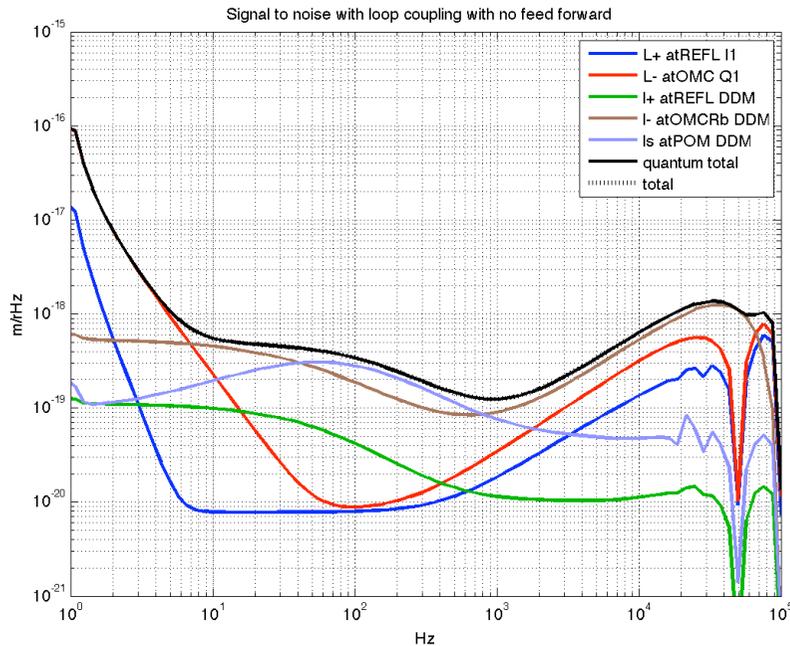


- ループノイズ的にはFeed forwardをいれればOK



進展状況

- 佐藤、苔山、川添モデルをの検証
 - 安東モデルに相当するロス等や非対称性を入れた現実的な場合



	dem.ph	L+	L-	l+	l-	ls
REFL I1	162	1.00e+00	-1.03e-02	2.35e-03	2.24e-05	1.37e-03
AS Q1	-96	-2.16e-02	1.00e+00	-2.27e-06	9.90e-04	8.08e-06
REFL DDM-45,-74		1.78e-03	1.79e-05	1.00e+00	-1.56e-04	6.94e-01
AS DDM	-97,71	1.00e-05	9.90e-04	-1.65e-06	1.00e+00	4.69e-09
POM DDM	-132,175	1.60e-04	1.37e-06	-9.86e-01	-2.45e-04	1.00e+00



まとめ

- 以前のLCGTモデルでは、ロスや比対称性が入るとループノイズは一気に悪化する
- この結果が本当に正しいかの検算が必要
- また各パラメーターも妥当性がある検証する必要がある

- 次の方針
 - モデル間の少しのずれはとりあえず無視して、RSEでデチューンしたときに可変になるかどうかの検証
 - その時のループノイズの計算
- 新バージョンのOptickleへの対応
- アライメント制御のループノイズ

ファイル置き場

<http://gw.icrr.u-tokyo.ac.jp:8888/JGWwiki/LCGT/subgroup/ifo/ISC/TaskList/CoreIFOModel>