

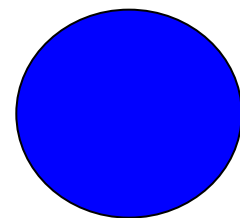
# LCGT制御法のアップデート

~AdLIGO制御法との比較

LCGT干涉計部会

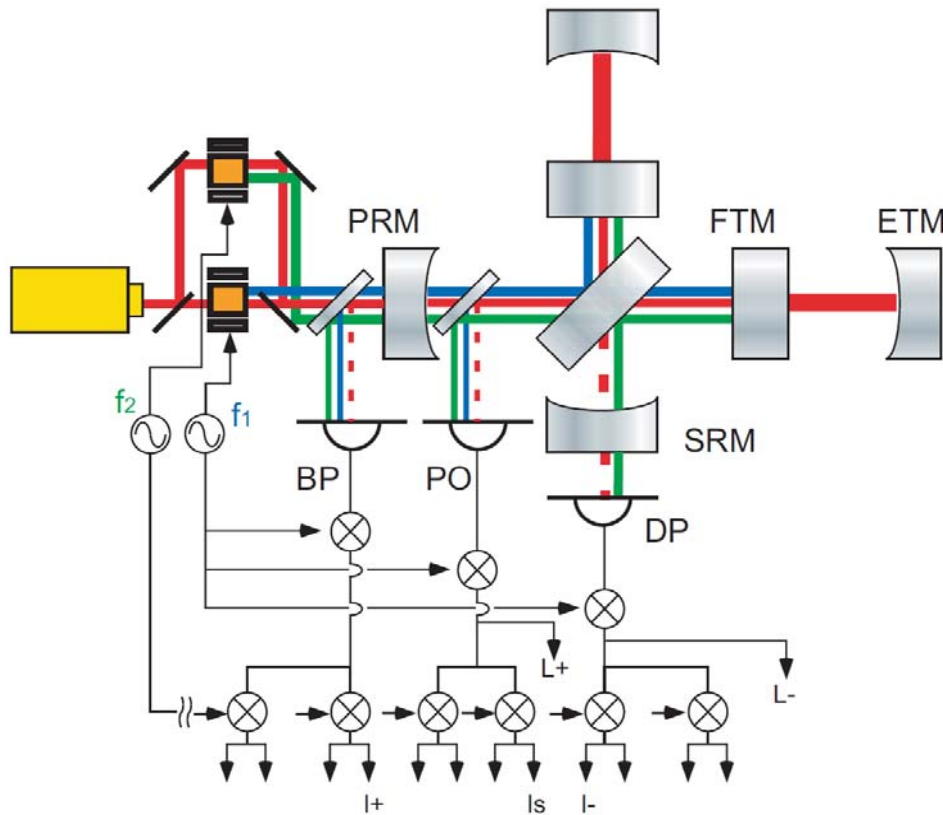
April 2009

カリフォルニア工科大 宗宮健太郎



K.Somiya

# LCGT制御法のレビュー



- 二重変調 with MZ
- small系は二重複調
- L-は $f_2$ の単復調(RF readout)
- $f_1$ はMI完全反射→BPへ
- $f_2$ はDRMIほぼ透過→DPへ

AdLIGOの制御法は全て違う!!

- どこが違うのか、なぜ違うのか
- AdLIGO制御法に問題はないのか

# 信号取得マトリクス

AdLIGO ZD noMZ (S.Ballmer LIGO-DCC)

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC
REFL	1	9.3E-02	5.4E-02	1.5E-03	4.3E-04
ASDC	3.6E-04	1	8.8E-05	3.6E-03	3.1E-03
POf1	2.3E+00	7.1E-01	1	2.3E-03	2.1E-03
POf2	4.4E+00	1.4E+00	7.8E-01	1	1.7E-01
POf2	3.3E+01	1.1E+01	5.6E+00	9.2E-04	1

LCGT (Kawazoe CQG)

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC
REFL	1	8.2E-06	-2.6E-02	6.4E-04	1.3E-02
ASRF	-9.2E-09	1	5.9E-09	1.3E-02	8.6E-09
BPDDM	-4.9E-02	-1.1E-04	1	-8.6E-03	-5.3E-01
PODDM	-1.0E-04	7.6E-02	1.4E-03	1	1.1E-05
DPDDM	-1.5E-01	-1.2E-02	1.1E+00	-2.2E-02	1

AdLIGOの信号分離はかなり悪い

- なぜこんなことになってるのか
- なぜこれでいいのか

➡ 次ページで説明

# AdLIGO制御法の変遷

2006年の時点では...

低周波法、Is信号最大化、MZ、DDM、detune、DC readout  
→ 信号分離はよく、ループ雑音も十分小さかった

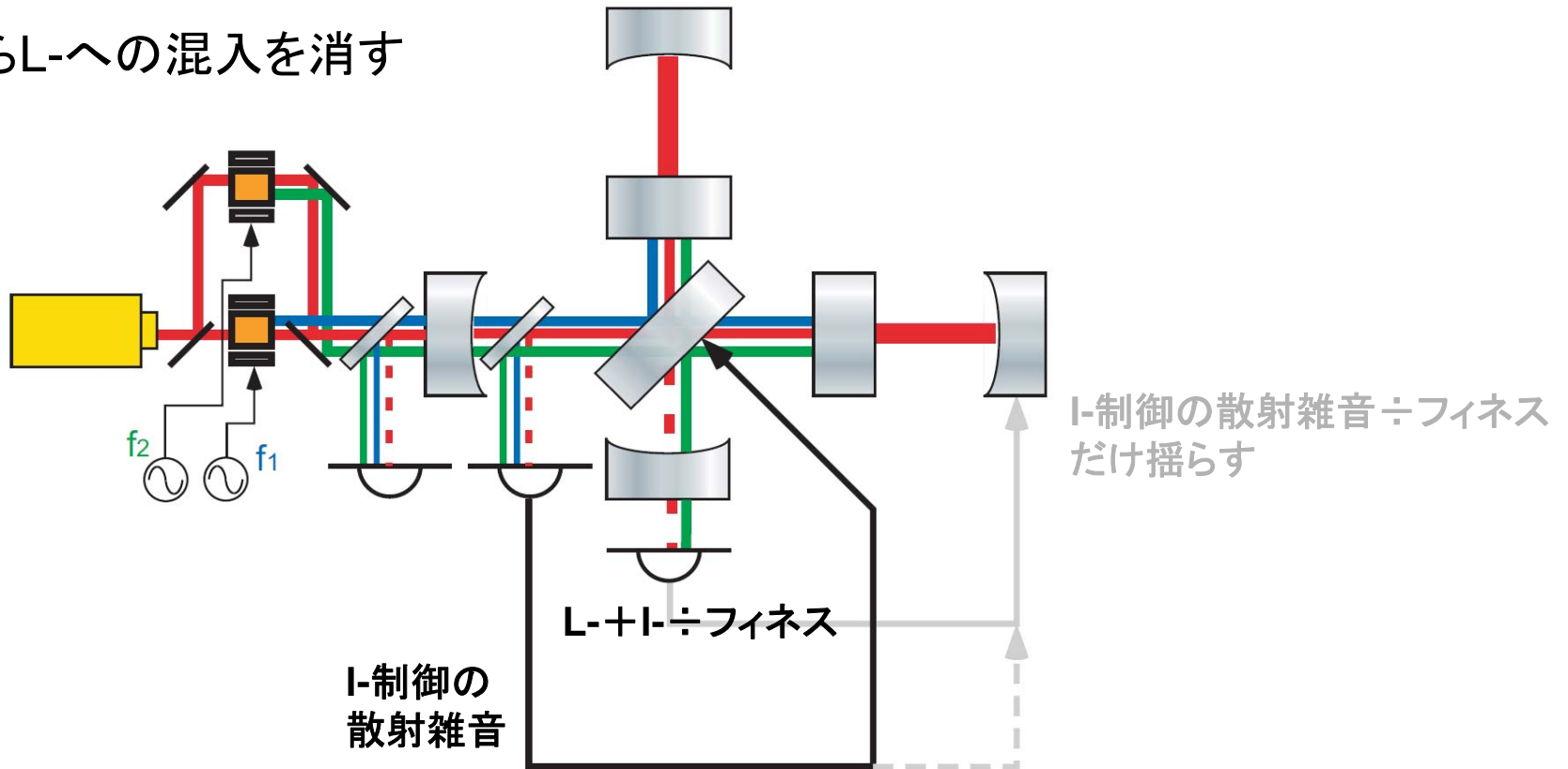
その後で...

- tunable detuning → Is信号を下げて線形領域を拡張
- パワーバランス変更 → 低フィネス、高PRG、低SRG  
→ Is信号がさらに低下
- AdLIGOもBRSEに → AMは使わないのでDDMは×
- MZも廃止の方向へ
- 単復調を採用: 信号分離は悪いが信号量が多い

→ 最終的に、ループ雑音は感度を制限しない(ように見える)

# フィードフォワード

例: I-からL-への混入を消す



AdLIGO制御ではFFを全自由度間にゲイン100で入れることで、ループ雑音が感度を制限しないようにしている  
(だから信号の大きい単復調の方がよく見えるのである)

➡ これは危険な発想では??

# LCGTではどうするか

## 変更しない点

- f1完全反射（LIGOではアシンメトリ長に制限があった）
- f2のDRMIほぼ完全透過（phase1ではBRSEに固定）
- 高フィネス（RF readoutなら大丈夫か）→要検討

この3点のおかげで信号分離はAdLIGOよりいいはず

## 変更を検討すべき点

- MZを使う場合、LCGTのみがリスクを背負うことに
- MZを使わない場合、DDM信号分離は悪化必至→単復調？
- ループ雑音の正しい計算をするべき；Optickleがベター

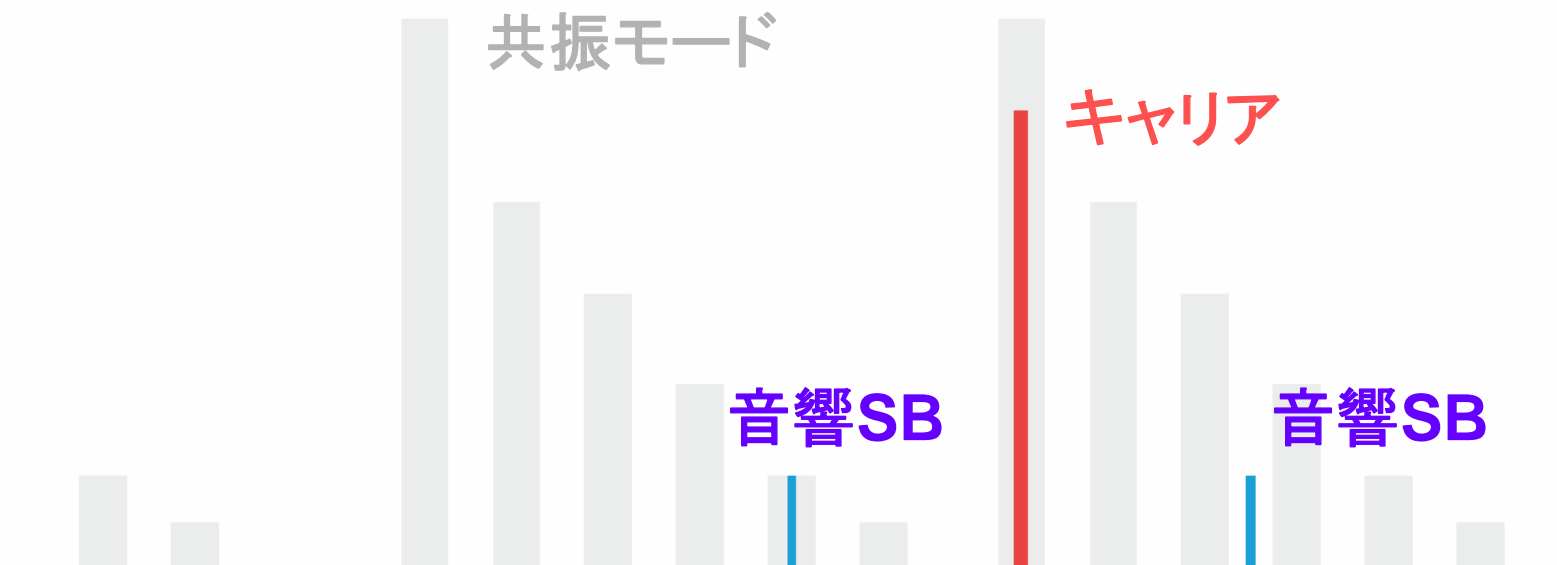
## まとめ

- AdLIGOのFFゲインの高さには疑問符
- LCGT制御法の方がベターな可能性が高い
- MZをどうするかが問題
- 単復調とどちらがいいか検討すべき
- ループ雑音の正しい解析が必要

# パラメトリックインスタビリティ



# パラメトリックインスタビリティ



- Lower SBのみが共振→光はエネルギーを失う  
→鏡の運動エネルギーに(不安定)
- 左側の隣接モードがどれくらい近いかによる  
→ビーム径が大きいほど近い

# パラメトリックインスタビリティ

～ 山元さんの見解 ～

## AdLIGOとLCGTの違い

- (1) LIGOはsilica、LCGTはsapphire
- (2) LCGTの方がビーム径が小さい

- (1) 不安定modeの数はLCGTが1/10  
(2) 不安定性の鏡曲率依存性が大幅に低下

## 今後の課題

- (1) 腕の長さが変わったので計算しなおす
- (2) power recyclingとRSEの効果を入れる
- (3) 計算していないhigher modeのcontributionを計算する
- (4) instability回避策: 鏡の側面への散逸を導入  
このdetailを決める(熱雑音との関連など)

以上です。



おまけ

## 基本的な考え方の違い

LIGOの人:ぎりぎりまで攻める

日本人:安全ファクターを設定する

実はいろいろなところにこの違いが出ている

- リサイクリングゲイン
- ビーム径
- デチューニング

FFゲインに関しても安全ファクターを入れる

# 信号取得マトリクス (AdLIGO;detune)

AdLIGO ZD no MZ

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC	
REFL		1	9.29E-02	5.36E-02	1.50E-03	4.29E-04
ASDC	3.63E-04		1	8.75E-05	3.56E-03	3.13E-03
POf1	2.29E+00	7.14E-01		1	2.29E-03	2.14E-03
POf2	4.42E+00	1.37E+00	7.79E-01		1	1.68E-01
POf2	3.33E+01	1.05E+01	5.64E+00	9.23E-04		1

AdLIGO ZD with MZ

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC	
REFL		1	9.29E-02	5.36E-02	1.50E-03	2.93E-04
ASDC	3.63E-04		1	8.75E-05	3.56E-03	3.06E-03
POf1	2.46E+00	7.69E-01		1	2.38E-03	2.31E-03
POf2	4.47E+00	1.38E+00	7.77E-01		1	1.70E-01
DDM	3.33E+01	1.05E+01	5.64E+00	8.97E-04		1

AdLIGO DRSE no MZ

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC	
REFL		1	2.75E-02	5.36E-02	1.07E-03	5.00E-05
ASDC	3.68E-04		1	7.11E-05	3.42E-03	3.16E-03
POf1	2.29E+00	1.50E-01		1	7.86E-04	4.71E-04
POf2	3.54E+00	3.46E-01	1.15E+00		1	8.46E-03
DDM	1.14E-01	1.57E-01	1.29E+01	2.00E-01		1

AdLIGO DRSE with MZ

	CARM	DARM	PRC	MICH	SRC	
REFL		1	2.75E-02	5.36E-02	1.07E-03	7.14E-05
ASDC	3.68E-04		1	7.11E-05	3.42E-03	2.89E-03
POf1	2.46E+00	1.62E-01		1	8.46E-04	5.08E-04
POf2	3.54E+00	3.38E-01	1.15E+00		1	8.46E-03
DDM	1.10E-01	1.43E-01	1.29E+01	1.95E-01		1

なんかMZの有無で  
変化がほとんどないが...?

# パラメトリック instability

～ 山元さんのスライドより ～

## *4-1. Number of unstable modes*

**Advanced LIGO : 20 ~ 60**

**LCGT : 2 ~ 4**

**(i) Elastic mode density : ~ (Sound velocity)<sup>-3</sup>**

**Advanced LIGO (Fused silica) : 6 km/s**

**LCGT (Sapphire) : 10 km/s**

**5 times smaller**

# パラメトリックインスタビリティ

## (ii) Optical mode density

Advanced LIGO : **7** modes / FSR

LCGT : **3** modes / FSR

**2** times smaller

**Larger beam radius for thermal noise reduction**  
(Advanced LIGO)

## (iii) Summary

Product of elastic and optical mode densities : **10** times smaller

Number of unstable mode

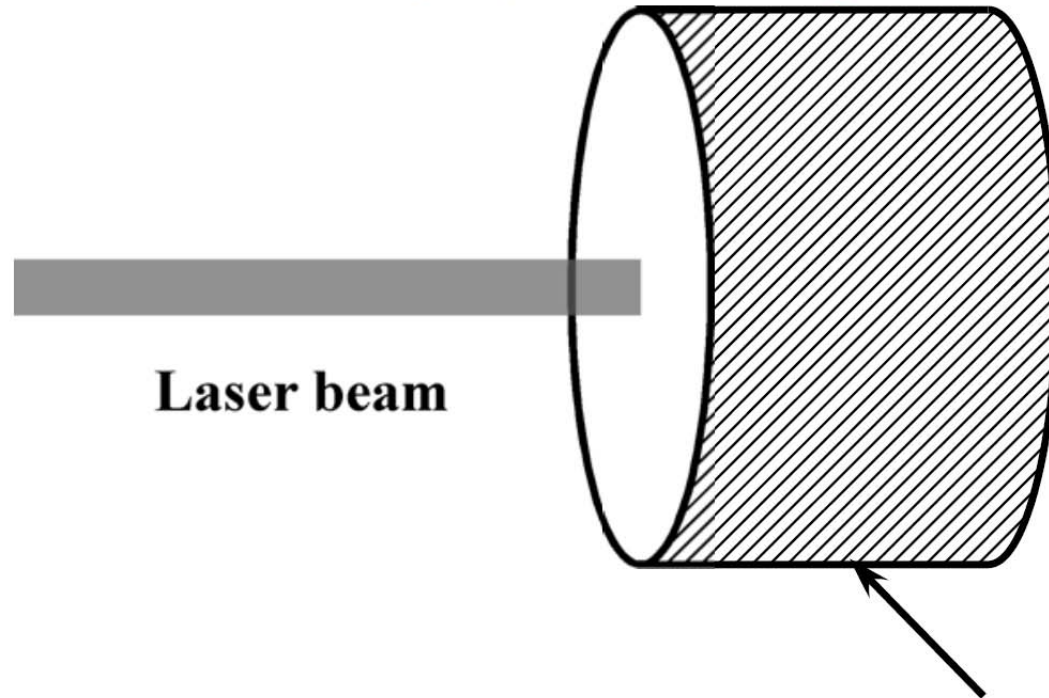
Advanced LIGO : **20 ~ 60**

LCGT : **2 ~ 4**



# パラメトリックインスタビリティ

$R$  is proportional to  $Q$ .



Laser beam

Coating (dissipation)

It **reduces  $Q$  values** effectively,

but does **not increase thermal noise** effectively.

$$Q = 10^8 \longrightarrow Q = 10^6$$

(**Almost all modes become stable**)